

Л. Нарцисс

КРАТКИЙ КУРС ПИВОВАРЕНИЯ

Солодоращение

Водоподготовка

*Производство
сусла*

*Фильтрация
и розлив*

Готовое пиво

*Инновации
в пивоварении*



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПРОФЕССИЯ

НАУЧНЫЕ
ОСНОВЫ И
ТЕХНОЛОГИИ



Ludwig Narziß

Abriß der Bierbrauerei

unter Mitarbeit von Werner Back

7., aktualisierte und erweiterte Auflage



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

УДК 663.4(035)

ББК 36.87я2

Н28

Нарцисс, Людвиг

Н28 Краткий курс пивоварения / Л. Нарцисс; при участии В. Бака; пер. с нем. А. А. Куреленкова. — СПб.: Профессия, 2007. — 640 е., табл.

ISBN 978-5-93913-149-0

ISBN 3-527-31035-5 (нем.)

Предлагаемая вниманию российских пивоваров книга написана известнейшим немецким специалистом, профессором, деканом факультета Университета г. Вайнштефан Людвигом Нарциссом — автором книг «Технология солода» и «Технология сула».

Несомненным достоинством этого издания является четкая структура, а также достаточно лаконичный стиль изложения материала. В настоящее издание включен материал, подготовленный автором для последней книги трехтомника — «Технология пива».

Книга предназначена для технологов, пивоваров, инженеров, менеджеров по производству, поставщиков сырья и оборудования для пивоварения, а также будет полезна студентам и преподавателям профильных вузов.

УДК 63.4(025)

ББК 36.87я 2

Все права защищены.

Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.
All rights reserved.

Originally published in the German language by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Boschstrasse 12, D-69469 Weinheim, Federal Republik of Germany, under the title «Abriss der Bierbrauerei».

ISBN 978-5-93913-149-0

ISBN 3-527-31035-5 (нем.)

© 2005 by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
KGaA Wienheim

© Куреленков А. А., перевод, 2007

© Изд-во «Профессия», 2007



Людвиг Нарцисс
Краткий курс пивоварения

Издательство «Профессия» Санкт-Петербург, 191002, а/я 600
Тел./факс: (812) 251-46-76, 740-12-60. URL: www.professija.ru, e-mail: bookpost@professija.ru

Подписано в печать 11.07.07. Формат 70x100 1/16. Усл. п. ч. л. 51,6.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ № 4174

Тираж 2000 экз. (1 завод 1000 экз.)

Оригинал-макет подготовлен при участии ООО «Акротек»

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП «Типография «Наука»,
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

Предисловие к седьмому изданию

В предыдущем 6-м издании был отражен современный на тот момент времени уровень знаний в области пивоварения с привлечением результатов тогда еще не опубликованных научных работ. В настоящем издании мы посчитали целесообразным ввести дополнительную 10-ю главу «Дополнения по данным новейших исследований», в которой изложены последние результаты НИОКР. Особое внимание уделено таким вопросам, как затирание, фильтрование и кипячение сусла, обработка сусла, технологические аспекты применения дрожжей и проблемы брожения и дображивания. Затронуты также вопросы современных методов фильтрования, новых блоков розлива пива в бутылки и использования пластиковых бутылок. В разделах о физико-химической, вкусовой и биологической стойкости пива, о пеностойкости, фильтруемости и «гашинг-эффекте» показаны достижения в пивоварении за прошедшие 10 лет.

После выхода на пенсию мое личное участие в научных исследованиях, естественно, прекратилось, но я имел возможность участвовать в технологических разработках.

Я очень признателен моему коллеге и последователю, проф. д-ру Вернеру Баку за содействие, и, прежде всего, за обеспечение мне возможности знакомиться с диссертациями, дипломными и курсовыми работами, а также за возможность участия в деятельности института. Пользуясь случаем, хотелось бы поблагодарить весь коллектив ассистентов, соискателей и научных сотрудников, а также предприятия по выпуску оборудования для пивоварения и хорошо знакомые мне пивоваренные заводы за активный обмен мнениями. Без всего этого данное дополнение едва ли могло быть подготовлено в существующем виде.

Я также благодарен «обновленному» издательству *Wiley-VCH* за благожелательное и заинтересованное сотрудничество.

г. Вайенштефан, лето 2004 г.
Людвиг Нарцисс

Предисловие к шестому изданию

Данный труд был подготовлен профессором, д-ром Хансом Леберле (*Hans Leberle*) в 1937 г. и впоследствии переработан им в 1949 г. В 1972 г. на его основе мы подготовили новый курс, в 1980 г. его переработали и дополнили несколькими новыми главами, и это позволило нам в 5-м издании 1986 г. отразить самый современный на то время уровень знаний. При подготовке в 1994 г. настоящего 6-го издания назрела необходимость в полной переработке материала, что, в свою очередь, выразилось в появлении некоторых новых разделов.

Цель этой книги, как и планировалось профессором Леберле, в компактном виде дать обзор всего комплекса возможностей солодоращения и пивоварения. При этом теоретические основы отдельных технологических операций изложены кратко в том объеме, который необходим для понимания различных технологических условий и свойств солода, сусле и пива. Особое значение в книге придается изложению отдельных аспектов приготовления солода и пива в тесной связи с практикой, а также описанию оборудования и аппаратов.

Данная работа задумана, прежде всего, как пособие для студентов и аспирантов по специальности «пивоварение», причем мы сознательно не ставили целью представить лекционный материал в полном объеме. Именно этим объясняется небольшое количество таблиц и отсутствие иллюстраций.

Кроме того, мы хотели предоставить специалистам-практикам данные о современном уровне технологии солодоращения и пивоварения, не обходя вниманием основополагающие и хорошо зарекомендовавшие себя на практике методы. Именно поэтому в книге наряду с современными технологиями описаны вопросы токового солодоращения, трёхотварочного способа затиранья солода или традиционной технологии брожения и дображивания. Поскольку рамки книги ограничены, то все вопросы мы рассматривали с учетом немецкого закона «О чистоте пива».

Большое внимание мы уделили описанию свойств пива и влияющим на них факторам. В книге появились новые разделы «Безалкогольное пиво», «Легкое пиво» и «Высокоплотное пивоварение». Новые разработки мы учитывали только в том случае, если они смогли себя хорошо зарекомендовать на практике или если их внедрение ожидается в ближайшем будущем.

Я очень признателен своему коллеге и последователю проф. д-ру Вернеру Баку (*Werner Back*) за переработку главы «Биологическая стойкость пива», а также за его поддержку моей позиции во многих дискуссиях. Выражаю также огромную признательность своим многолетним сотрудникам — директору по науке д-ру Элизабет Райхенедер (*Elisabeth Reicheneder*), проф. д-ру Хайнцу Миеданеру (*Heinz Miedaner*), а также многочисленным ассистентам и помощникам в ходе моей почти 30-летней преподавательской и научной деятельности в Вайенштефане, в результате которой было подготовлено 44 диссертации и огромное количество дипломных и курсовых работ, а также проведено много практических испытаний.

Огромное спасибо спонсорам — Обществу развития науки в области немецкой пивоваренной промышленности, Научно-испытательной пивоваренной лаборатории в Мюнхене, Объединенному комитету содействия промышленности и др. Отдельная благодарность издательству за доброжелательную атмосферу сотрудничества.

Мне хочется надеяться, что этот несколько увеличившийся в объеме труд будет так же хорошо принят специалистами, как и все предыдущие издания.

г. Вайенштефан, зима 1994-1995 гг.
Людвиг Нарцисс

Содержание

1.	Технология солодоращения....	13	1.6.	Сушка свежепросоженного солода	102
1.1.	Пивоваренный ячмень.....	13	1.6.1.	Общие положения.....	102
1.1.1.	Строение зерна ячменя.....	14	1.6.2.	Сушилки.....	108
1.1.2.	Химический состав зерна ячменя	15	1.6.3.	Процесс сушки.....	120
1.1.3.	Свойства ячменя и их оценка. . .	22	1.6.4.	Контроль и автоматизация сушиль- ных работ — обслуживание суши- лок.....	130
1.2.	Подготовка ячменя к солодора- щению.....	25	1.6.5.	Экономия тепла и энергии.....	131
1.2.1.	Приемка ячменя.....	25	1.6.6.	Вспомогательные работы при сушке.....	132
1.2.2.	Транспортное оборудование.	25	1.6.7.	Обработка солода после сушки	133
1.2.3.	Очистка и сортирование ячменя	26	1.6.8.	Складирование и хранение сухо- го солода.....	135
1.2.4.	Хранение ячменя.....	31	1.7.	Потери при солодоращении.	136
1.2.5.	Дополнительное подсушивание ячменя.....	36	1.7.1.	Потери при замачивании.....	137
1.2.6.	Вредители ячменя.....	38	1.7.2.	Потери на дыхание и пророщива- ние.....	138
1.2.7.	Изменение массы ячменя во вре- мя хранения.....	39	1.7.3.	Определение потерь при солодо- ращении.....	139
1.3.	Замачивание ячменя.....	39	1.8.	Свойства солода.....	140
1.3.1.	Поглощение воды зерном ячменя	39	1.8.1.	Внешние признаки.....	140
1.3.2.	Снабжение зерна кислородом. . . .	40	1.8.2.	Механический анализ.....	140
1.3.3.	Очистка ячменя.....	41	1.8.3.	Технохимический анализ.....	141
1.3.4.	Потребление воды.....	41	1.9.	Другие типы солода.....	144
1.3.5.	Аппараты для замачивания.	42	1.9.1.	Пшеничный солод.....	144
1.3.6.	Способы замачивания.....	45	1.9.2.	Солод из других зерновых культур	145
1.4.	Пророщивание.....	49	1.9.3.	Специальные типы солода.....	146
1.4.1.	Теория пророщивания.....	49	2.	Технология приготовления сусла.....	149
1.4.2.	Практические аспекты пророщи- вания.....	59	2.0.	Общие вопросы.....	149
1.5.	Различные системы солодораще- ния.....	66	2.1.	Пивоваренное сырье.....	149
1.5.1.	Токовая солодовня.....	66	2.1.1.	Солод.....	149
1.5.2.	Пневматическая солодовня.	70	2.1.2.	Несоложенные материалы.....	149
1.5.3.	Оборудование для пророщивания в пневматических солодовнях	76	2.1.3.	Вода.....	151
1.5.4.	Готовый свежепросоженный солод	101			

2.1.4	Хмель.....	163	2.7.	Охлаждение сусла и удаление осадка взвесей горячего сусла	281
2.2.	Дробление солода.....	173	2.7.1.	Охлаждение сусла.....	282
2.2.1.	Оценка помола.....	174	2.7.2.	Поглощение кислорода суслom..	282
2.2.2.	Солодовые дробилки.....	176	2.7.3.	Удаление осадка взвесей.....	283
2.2.3.	Свойства и состав помола.....	182	2.7.4.	Прочие процессы.....	284
2.3.	Затириание.....	183	2.7.5.	Оборудование холодильного отделения.....	285
2.3.1.	Теория затириания.....	183	2.7.6.	Использование холодильной тарелки, оросительного или закрытого холодильников.....	285
2.3.2.	Практика затириания.....	194	2.7.7.	Закрытые системы охлаждения сусла.....	288
2.3.3.	Способы затириания.....	201	2.8.	Выход холодного сусла.....	300
2.3.4.	Некоторые проблемы при затириании.....	213	2.8.1.	Измеряемые показатели.....	300
2.3.5.	Контроль процесса затириания ...	214	2.8.2.	Расчет выхода экстракта с холодным суслom.....	301
2.4.	Получение сусла. Фильтрование	217	3.	Технология брожения.	303
2.4.1.	Фильтрование с помощью фильтр-чана.....	217	3.1.	Пивные дрожжи.....	303
2.4.2.	Фильтр-чан.....	217	3.1.1.	Морфология дрожжей.....	304
2.4.3.	Процесс фильтрования в фильтр-чане.....	221	3.1.2.	Химический состав дрожжей. . . .	305
2.4.4.	Фильтрование с помощью традиционного фильтр-пресса.....	234	3.1.3.	Ферменты дрожжей.....	306
2.4.5.	Заторный фильтр-пресс (майш-фильтр).....	234	3.1.4.	Размножение дрожжей.....	307
2.4.6.	Процесс фильтрования в фильтр-прессе (майш-фильтре).....	236	3.1.5.	Генетика дрожжей.	308
2.4.7.	Фильтр-пресс нового поколения	241	3.1.6.	Генетическая модификация дрожжей.....	308
2.4.8.	Фильтрование на новых заторных фильтр-прессах.....	241	3.1.7.	Автолиз дрожжей.....	310
2.4.9.	Стрейнмастер.....	243	3.2.	Метаболизм дрожжей.....	310
2.4.10.	Непрерывные методы фильтрования.....	245	3.2.1.	Метаболизм углеводов.....	311
2.4.11.	Сборник первого сусла.....	245	3.2.2.	Метаболизм азотистых веществ	314
2.5.	Кипячение и охмеление сусла	246	3.2.3.	Метаболизм жиров.....	316
2.5.1.	Суслowарочный котел.....	246	3.2.4.	Метаболизм минеральных веществ.....	317
2.5.2.	Испарение избыточной воды. . . .	250	3.2.5.	Ростовые вещества (витамины)	318
2.5.3.	Коагуляция белка.....	251	3.2.6.	Продукты метаболизма и их влияние на качество пива.	319
2.5.4.	Охмеление сусла.....	255	3.3.	Дрожжи низового брожения. . . .	325
2.5.5.	Содержание ароматических веществ в сусле.....	266	3.3.1.	Выбор дрожжей.....	325
2.5.6.	Потребление энергии при кипячении сусла.....	269	3.3.2.	Разведение чистой культуры пивных дрожжей.....	325
2.5.7.	Спуск сусла.....	273	3.3.3.	Дегенерация дрожжей.....	327
2.5.8.	Горячее охмеленное сусло.	273	3.3.4.	Снятие дрожжей.....	328
2.5.9.	Дробина.....	274	3.3.5.	Очистка дрожжей.....	329
2.5.10.	Техника безопасности и управление процессом варки.....	274	3.3.6.	Хранение дрожжей.....	330
2.6.	Выход экстракта в варочном цехе	276	3.3.7.	Отгрузка дрожжей.....	331
2.6.1.	Расчет производительности варочного цеха.....	276	3.3.8.	Определение жизнеспособности дрожжей.....	332
2.6.2.	Оценка выхода экстракта в варочном цехе.....	278	3.4.	Низовое брожение.....	332
			3.4.1.	Бродильные отделения.....	332
			3.4.2.	Бродильные чаны.....	335

3.4.3.	Внесение дрожжей в сусло при главном брожении.....	343	5.2.	Розлив в бочки и кеги.....	426
3.4.4.	Проведение брожения.....	348	5.2.1.	Бочки и кеги.....	426
3.4.5.	Ход главного брожения.....	349	5.2.2.	Мойка бочек.....	427
3.4.6.	Степень сбраживания.....	353	5.2.3.	Розлив в бочки.....	428
3.4.7.	Перекачка пива из бродительного отделения.....	356	5.2.4.	Инновации в традиционном розливе пива в бочки.....	429
3.4.8.	Изменения в сусле в ходе брожения.....	357	5.2.5.	Розлив в кеги.....	430
3.4.9.	Образование CO ₂	361	5.2.6.	Цех розлива в кеги.....	433
3.5.	Дображивание и созревание пива	364	5.3.	Розлив в бутылки и банки.....	434
3.5.1.	Отделение дображивания (лагерное).....	364	5.3.1.	Тара.....	434
3.5.2.	Емкости для дображивания (лагерные танки).....	366	5.3.2.	Мойка бутылок.....	435
3.5.3.	Дображивание.....	368	5.3.3.	Розлив в бутылки.....	439
3.6.	Современные способы брожения и дображивания.....	380	5.3.4.	Мойка и дезинфекция установок розлива.....	443
3.6.1.	Традиционный принцип работы бродительных танков и крупных емкостей.....	380	5.3.5.	Укупорка бутылок.....	443
3.6.2.	Применение буферных танков и центрифуг.....	385	5.3.6.	Поглощение кислорода в процессе розлива.....	444
3.6.3.	Методы ускоренного брожения и созревания пива.....	387	5.4.	Стерильный розлив и пастеризация пива.....	448
3.6.4.	Непрерывные способы брожения	397	5.4.1.	Стерильный розлив.....	448
4.	Фильтрование пива.....	399	5.4.2.	Пастеризация пива.....	452
4.1.	Теоретические основы фильтрования.....	399	5.5.	Цех розлива в бутылки.....	456
4.2.	Способы фильтрования.....	402	6.	Потери сусла и пива.....	458
4.2.1.	Масс-фильтр.....	402	6.1.	Деление общих потерь.....	459
4.2.2.	Кизельгур.....	403	6.1.1.	Потери сусла.....	459
4.2.3.	Пластинчатый фильтр-пресс... ..	412	6.1.2.	Потери пива.....	461
4.2.4.	Мембранное фильтрование.....	413	6.2.	Оценка потерь.....	464
4.2.5.	Центрифуги.....	415	6.2.1.	Расчет потерь по жидкой фазе ...	464
4.3.	Комбинированные способы осветления.....	416	6.2.2.	Перерасчет потерь.....	465
4.4.	Способы замены кизельгурового фильтрования.....	417	6.2.3.	Расчет выработанного сусла и пива на 100 кг солода.....	466
4.5.	Вспомогательное оборудование и контрольно-измерительная аппаратура.....	419	6.2.4.	Расчет потерь по экстракту горячего охмеленного сусла и засыпи солода.....	466
4.5.1.	Вспомогательное оборудование.....	419	6.2.5.	Использование остаточного и некондиционного пива.....	467
4.5.2.	Контрольно-измерительная аппаратура.....	420	7.	Готовое пиво.....	470
4.6.	Начало и окончание фильтрования	422	7.1.	Состав пива.....	470
4.7.	Дрожжевой осадок.....	423	7.1.1.	Экстрактивные вещества пива ..	470
4.8.	Сжатый воздух.....	423	7.1.2.	Летучие соединения.....	472
5.	Розлив пива.....	425	7.2.	Классификация пива.....	473
5.1.	Хранение фильтрованного пива	425	7.3.	Свойства пива.....	473
			7.3.1.	Общие свойства.....	473
			7.3.2.	Окислительно-восстановительный потенциал.....	474
			7.3.3.	Цветность пива.....	474
			7.4.	Вкус пива.....	475
			7.4.1.	Вкусовые отличия.....	476
			7.4.2.	Факторы, влияющие на вкус пива	477
			7.4.3.	Дефекты вкуса пива.....	479

7.5.	Пена пива.....	482	8.3.2.	Свойства сусла.....	538
7.5.1.	Теория пенообразования.....	482	8.3.3.	Внесение дрожжей.....	538
7.5.2.	Технологические факторы.....	484	8.3.4.	Ход главного брожения.....	539
7.6.	Физико-химическая стойкость и ее стабилизация.....	486	8.3.5.	Изменения в сусле при верховом брожении.....	542
7.6.1.	Состав коллоидных помутнений	487	8.3.6.	Дображивание.....	544
7.6.2.	Образование коллоидного помутнения.....	487	8.3.7.	Фильтрование и розлив.....	548
7.6.3.	Технологические способы повышения коллоидной стойко- сти пива.....	488	8.4.	Различные типы пива верхового брожения.....	548
7.6.4.	Стабилизация пива.....	489	8.4.1.	Пиво типа <i>Alt</i> (регион Дюссель- дорфа, Нижнего Рейна.....	549
7.6.5.	Стабильность вкуса пива.....	496	8.4.2.	Пиво типа Кёльш.....	551
7.6.6.	Химическое помутнение.....	500	8.4.3.	Пшеничное бездрожжевое пиво..	553
7.6.7.	Фонтанирование пива (гашинг- эффект).....	502	8.4.4.	Пшеничное дрожжевое пиво. . . .	559
7.7.	Фильтруемость пива.....	504	8.4.5.	Пиво типа <i>Berliner Weissbier</i>	562
7.7.1.	Причины плохой фильтруемо- сти пива.....	504	8.4.6.	Сладкое солодовое пиво.....	564
7.7.2.	Профилактические меры.	506	8.4.7.	Верховое «диетическое» пиво по баварской технологии.....	565
7.8.	Биологическая стойкость пива..	508	8.4.8.	Безалкогольное пиво верхового брожения.....	566
7.8.1.	Причины контаминации.....	508	8.4.9.	«Легкое» пиво верхового брожения	566
7.8.2.	Обеспечение биологической стойкости пива.....	510	9.	Высокоплотное пивоварение ..	567
7.9.	Физиологическое действие пива	511	9.1.	Получение высокоплотного сусла.....	567
7.9.1.	Пищевая ценность пива.....	511	9.1.1.	Фильтрование.....	567
7.9.2.	Диетические свойства пива.	513	9.1.2.	Затираание.....	568
7.10.	Специальные типы пива.....	513	9.1.3.	Кипячение сусла.....	569
7.10.1.	Слабоалкогольное пиво.	513	9.1.4.	Применение вирпула.....	569
7.10.2.	Диетическое пиво.....	516	9.1.5.	Разбавление плотного сусла при его охлаждении.....	569
7.10.3.	Безалкогольное пиво.....	517	9.2.	Брожение высокоплотного сусла.....	570
7.10.4.	Способы ограничения содержа- ния спирта.....	517	9.3.	Разбавление пива.....	571
7.10.5.	Физические методы удаления спирта.....	521	9.4.	Свойства пива.....	571
7.10.6.	Сочетание различных способов приготовления безалкогольного пива.....	525	10.	Дополнения по данным новей- ших исследований.....	573
7.10.7.	Легкое пиво.....	528	10.1.	К главе 1: Технология производ- ства солода.....	573
8.	Верховое брожение.	531	10.1.1.	К разделу 1.3.1. Поглощение воды зерном ячменя.....	573
8.1.	Общие вопросы.....	531	10.1.2.	К разделу 1.4.1. Теория прора- щивания.....	574
8.2.	Верховые дрожжи.....	532	10.1.3.	К разделу 1.6. Сушка свежепро- росшего солода.....	575
8.2.1.	Морфологические признаки.	532	10.1.4.	К разделу 1.6.3. Влияние спосо- бов подсушивания и сушки на стабильность вкуса (см. также раздел 7.6.5.5).....	576
8.2.2.	Физиологические различия.	532	10.1.5.	К разделу 1.6.8. Складирование и хранение сухого солода.....	577
8.2.3.	Технологические особенности брожения.....	533			
8.2.4.	Обработка дрожжей.....	534			
8.3.	Ведение верхового брожения.	536			
8.3.1.	Бродильный цех и бродильные ёмкости.....	536			

10.1.6. К разделу 1.8.2. Механический анализ.....	577	10.3.5. К разделу 2.7.7. Закрытые системы охлаждения сусла.....	599
10.1.7. К разделу 1.8.3. Технохимический анализ.....	577	10.3.6. К разделу 2.8.2. Расчет выхода экстракта с холодным суслим	602
10.1.8. К разделу 1.9.1. Пшеничный солод.....	578	10.4. К главе 3: Технология брожения ...	603
10.1.9. К разделу 1.9.2. Солод из других зерновых культур.....	579	10.4.1. К разделу 3.4.3. Внесение дрожжей в суслим при главном брожении.....	603
10.1.10. К разделу 1.9.3. Специальные типы солода.....	580	10.4.2. К разделу 3.3.2. Разведение чистой культуры пивных дрожжей.....	607
10.2. К главе 2. Технология приготовления сусла.....	580	10.4.3. К разделу 3.3.6. Хранение дрожжей.....	608
10.2.1. К разделу 2.1.3. Вода		10.4.4. К разделу 3.3.8. Определение жизнеспособности дрожжей.	609
10.2.2. К разделу 2.1.4. Хмель.....	581	10.5. К главе 4: Фильтрация пива ..	610
10.2.3. К разделу 2.2.2. Солодовые дробилки.....	582	10.5.1. К разделу 4.2.2. Кизельгур.....	610
10.2.4. К разделу 2.3.1. Теория затирания.....	584	10.5.2. К разделу 4.3. Комбинированные способы осветления.....	611
10.2.5. К разделу 2.3.3. Способы затирания.....	584	10.5.3. К разделу 4.4. Способы замены кизельгурового фильтрования.....	613
10.2.6. К разделам 2.4.2. Фильтр-чан и 2.4.3. Процесс фильтрования в фильтр-чане	586	10.6. К главе 5: Розлив пива.....	616
10.2.7. К разделу 2.4.7. Фильтр-пресс нового поколения.....	587	10.6.1. К разделу 5.2. Розлив в бочки и кеги.....	616
10.3. К разделу 2.5. Кипячение и охмеление сусла.....	589	10.6.2. К разделу 5.3. Розлив в бутылки и банки.....	616
10.3.1. К разделам 2.5.6 и 2.7.7. Предварительное охлаждение сусла между котлом и вихрем до 85-90 °С	590	10.6.3. К разделу 5.3.3. Розлив в бутылки.....	618
10.3.2. К разделам 2.5.1, 2.5.5-2.5.6, 2.7.4, 2.7.7. Тонкопеночный выпарной аппарат с дополнительным выпариванием после вихря	593	10.7. К главе 7: Готовое пиво.....	621
10.3.3. К разделу 2.5.6. Потребление энергии при кипячении сусла. ...	595	10.7.1. К разделу 7.5.2. Технологические факторы пенообразования.....	621
10.3.4. К разделу 2.7.4. Прочие процессы (изменения свойств сусла между окончанием кипячения сусла и окончанием охлаждения)	598	10.7.2. К разделу 7.6.4. Стабилизация пива.....	624
		10.7.3. К разделу 7.6.7. Фонтанирование пива (гашинг-эффект).	632
		10.7.4. К разделу 7.7. Фильтруемость пива.....	633
		10.7.5. К разделу 7.8. Биологическая стойкость пива.....	634
		10.7.6. К разделу 7.9. Физиологическое действие пива.....	635
		Предметный указатель.....	637

1. Технология солодоращения

Под солодоращением понимают проращивание различных видов зерна в специально создаваемых или регулируемых условиях. Конечный продукт проращивания называют свежепросошим солодом; путем подвяливания и сушки получают сушеный солод.

Основная цель солодоращения заключается в образовании ферментов, которые в процессе проращивания вызывают определенные превращения резервных веществ, накопленных в зерне злаков. Слишком незначительное или чрезмерное образование или действие ферментов в ходе проращивания является нежелательным и снижает качество свежепросошеного солода.

1.1. Пивоваренный ячмень

Для производства солода можно использовать различные виды злаковых культур (см. раздел 1.9.2), однако лучше всего для этих целей подходит двухрядный ячмень, все зерна которого симметричны и одинаково развиты. Многорядный ячмень вследствие несимметричности

и слабого развитых боковых зерен используется для солодоращения в Европе в незначительном объеме. В Америке многорядный ячмень благодаря высокому содержанию белка и ферментативной силе используют для переработки несоложенных материалов.

Двухрядный ячмень подразделяют на две основные группы:

- прямостоящий ячмень — колос плотный, широкий; при созревании сохраняет вертикальное положение; отдельные зерна тесно прилегают друг к другу;
- поникающий ячмень — колос длинный, узкий и рыхлый, в течение всего периода созревания поникающий; отдельные зерна располагаются неплотно.

В качестве пивоваренного ячменя используют главным образом различные сорта ярового поникающего ячменя. Выведение продуктивных сортов, приспособленных к условиям созревания и уборки в континентальном европейском или морском климате, позволило обеспечить высокую стабильность свойств ячменя. Кроме того, выведены сорта с повышенной устойчивостью к болезням растений (мучнистой росе, ржавчине, карликовой ржавчине и др.).

Результатом новейших достижений в области селекции стало выведение сортов озимого ячменя с высокими качественными характеристиками, но решение об их районировании в ближайшем будущем будет зависеть от политики в области производства пивоваренного ячменя. Голозерный ячмень пока еще не занял прочного места, как и культивирование ячменя без процианидинов (см. раздел 1.1.2.8) или ячменя с тонкими клеточными стенками, то есть с пониженным содержанием β-глюкана (см. раздел 1.1.2.2). При неблагоприятных погодных условиях эти сорта отличаются существенным снижением урожайности и качества.

Принадлежность ячменя к одной из двух основных групп можно определить по отдельному зрелому зерну — по форме его основания, а также по количеству и форме базальных щетинок у основания зерна. Кроме этих признаков для идентификации сорта используют также форму щетинок и число зазубринок на спинной стороне зерна.

Для определения содержания проламины используют электрофоретические и иммунологические методы анализа.

Пивоваренный ячмень реализуют с указанием места его выращивания и сорта. В зависимости от климатических условий и сортовых свойств возможны существенные отличия в способности ячменя к проращиванию и его пивоваренных свойствах, в связи с чем следует избегать смешивания сортов.

1.1.1. Строение зерна ячменя

Спелое ячменное зерно представляет собой зерновку со сросшимися внешними оболочками и состоит из трех основных частей: зародыша (эмбриона), эндоспер-

ма (мучнистого тела) и оболочек (цветочной, плодовой и семенной).

1.1.1.1. Зародыш вместе со щитком и всасывающим эпителием — живая часть зерна ячменя, расположенная внизу со стороны спинки зерна. Он состоит из элементов будущих осевых органов, зародышевого корешка и листка. К зародышу плотно прилегает щиток, который отделяет эндосперм и обеспечивает подведение к растущему зародышу питательных веществ из эндосперма. На стороне, обращенной к эндосперму, расположен слой перпендикулярно расположенных тонкостенных клеток цилиндрической формы — всасывающий эпителий, крепко сросшийся с расположенными под ним тканями щитка и соприкасающийся с клетками примыкающего эндосперма, с которым эпителий не срастается.

1.1.1.2. Эндосперм состоит из двух слоев клеток, содержащих крахмал и жиры. Ядро эндосперма образуют крахмалосодержащие клетки, заключенные в оболочку из белковых и гумми-веществ.

Крахмалосодержащие клетки окружены тройным слоем прямоугольных толстостенных клеток, который называют алейроновым слоем. Эти клетки содержат белковые вещества и жиры. В непосредственной близости от зародыша этот слой состоит только из одного ряда клеток. Между крахмалосодержащими тканями эндосперма и зародышем расположен относительно толстый слой «пустых», сдавленных клеток, — слой растворенного эндосперма. Содержимое этих клеток уже было использовано зародышем на стадии, предшествующей созреванию.

Именно в эндосперме происходят все биологические и химические изменения зерна ячменя. В процессе развития

зародыша резервные вещества эндосперма расщепляются, преобразуются и могут использоваться частично для дыхания зародыша, а частично — для строительства новых клеток. При солодоращении эндосперм по экономическим соображениям должен использоваться как можно меньше. Технологическое использование эндосперма в процессе брожения с помощью предварительно образованных ферментов начинается лишь после гибели зародыша.

1.1.1.3. Оболочка состоит из трех частей: цветочной, плодовой и семенной. Она защищает зерно во время роста стебля. Цветочная оболочка состоит из внутренней цветочной оболочки, расположенной на брюшной стороне зерна, и внешней цветочной оболочки на его спинной стороне. Под ней находится внешний оболочечный листок — плодовая оболочка (перикарпий), а под ней — внутренний оболочечный листок, семейная оболочка (теста). Обе оболочки состоят из нескольких слоев клеток и кажутся сросшимися друг с другом. Семенная оболочка полупроницаема: она пропускает воду и не пропускает высокомолекулярные соединения, которые задерживаются мембраной. Различные ионизированные соединения проникают внутрь зерна вместе с водой.

1.1.2. Химический состав зерна ячменя

Ячмень состоит на 80-88 % из сухих веществ и на 12-20 % из воды. Сухие вещества — это азотсодержащие соединения, соединения не содержащие азота, а также неорганические вещества (зола).

1.1.2.1. Крахмал. Основная доля органических соединений, не содержащих азот, приходится на углеводы и, в первую

очередь, на крахмал, содержание которого составляет 60-65 % (в пересчете на СВ). Он накапливается в зерне в процессе ассимиляции CO_2 и H_2O под действием солнечного излучения с помощью хлорофилла с участием кислорода.

Накопление крахмала в зерне служит для обеспечения зародыша при прорастании (в период первоначального развития) питательными веществами. Крахмал накапливается в виде крахмальных зерен, которые различаются по форме: крупные линзообразные и почти шарообразные мелкие зерна. Количество последних возрастает с увеличением содержания белка в ячмене, и в них содержится больше белка и амилозы, чем в крупных зернах.

Чистый крахмал строится из глюкозных остатков. Различают два различных по структуре углевода — амилозу и амилопектин, которые можно разделить и выделить в чистом виде. Доля *амилозы* (нормальной или n -амилозы) составляет 17-24 % общего содержания крахмала в ячмене. Амилоза (α -1,4-глюкан) обычно содержится внутри крахмальных зерен и состоит из длинных, неразветвленных, спирально закрученных цепочек, состоящих из 60-2000 глюкозных остатков, соединенных α -1,4-связью. Молекулярная масса молекул различной длины колеблется от 10 000 до 500 000. Реакция амилозы с йодом дает синее окрашивание. Она образует в воде коллоидный раствор, но не образует клейстера. При ферментном расщеплении (например α -или β -амилазой) образуется дисахарид мальтоза.

Амилопектин (изо-амилоза) составляет 76-83 % крахмала. Он состоит также из глюкозных остатков, но наряду с глюкозными цепочками, где остатки глюкозы соединены через α -1,4-связи, имеет место

и присоединение глюкозных остатков по связи α -1,6 с образованием ветвления. Между ветвлениями находится около 15 глюкозных остатков. Такая пространственно разветвленная структура обуславливает способность амилопектина к клейстеризации; молекулярная масса амилопектинов примерно в 10 раз больше молекулярной массы амилозы (1-6 млн) и соответствует 6-40 тыс. остатков глюкозы. Амилопектин содержит около 0,23 % фосфата, присоединенного по эфирной связи. Предполагают, что именно фосфор отвечает за клейстеризацию. С йодом амилопектин дает окрашивание от фиолетового до бурого.

Крахмал не имеет вкуса и запаха, его плотность в безводном состоянии составляет $1,63 \text{ г/см}^3$, а теплота сгорания — $17\ 130 \text{ кДж (4140 ккал)/кг}$. Оптическая плотность — $+201-204^\circ$.

1.1.2.2. Полисахариды, не содержащие крахмал, составляют 10-14 %. Основное количество целлюлозы содержится в цветочной оболочке, в эндосперме ее практически нет. Подобно гемицеллюлозе, целлюлоза состоит из молекул глюкозы, соединенных друг с другом связями β -1,4. Целлюлоза не имеет вкуса и запаха, трудно поддается воздействию всех реагентов, нерастворима в воде и обладает достаточной стойкостью к действию ферментов. Она не участвует в обмене веществ зерна и остается в цветочной оболочке, где дополнительно укрепляется лигнином. При солодоращении целлюлоза не изменяется и при фильтрации играет в цветочной оболочке роль фильтрующего слоя. Аналитически она определяется как клетчатка (3,5-7 % СВ ячменя).

Гемицеллюлозы участвуют в формировании клеточных стенок и определяют их прочность. В зависимости от место-

нахождения (в эндосперме или в цветочной оболочке) различают два типа гемицеллюлоз: «цветочную», состоящую из небольшого количества β -глюкана, урновых кислот и значительного количества пентозанов, и «эндоспермовую», содержащую много β -глюкана, мало пентозанов и вообще не содержащую урновых кислот. Водорастворимый β -глюкан состоит из остатков глюкозы, соединенных между собой по β -1,4 (70 %) и β -1,3 (30 %). При неполном гидролизе в гидролизате обнаруживаются дисахариды — целлобиоза и ламинарибиоза. Пентозаны состоят из молекул ксилозы, соединенных β -1,4 связью, но имеются также боковые цепочки из ксилозы, арабинозы и глюкуроновой кислоты, соединенные по β -1,3 и β -1,2-связям. У пентозана эндосперма молекулы арабинозы присоединены по β -1,3 и β -1,2-связям.

Гемицеллюлозы связаны с белками эфирными связями и поэтому нерастворимы в воде. Их молекулярная масса может составлять до $40 \cdot 10^6$. Гемицеллюлозы можно перевести в растворимую форму с помощью разбавленного раствора едкого натра или под действием ферментов. Содержание гемицеллюлоз и гумми-веществ зависит от условий произрастания ячменя.

Гумми-вещества представляют собой водорастворимые гемицеллюлозы, обладающие высокой вязкостью, и состоят из β -глюкана и пентозана. В воде они дают коллоидные растворы. Молекулярная масса гумми-веществ около 400 000. Содержание водорастворимых гумми-веществ в ячмене может колебаться в значительных пределах, составляя около 2 % массы зерна.

Лигнин является своего рода «прослойкой», накапливающейся в клеточной стенке цветочной оболочки.

1.1.2.3. Низкомолекулярные углеводы в ячмене состоят из сахарозы (1-2 %), раффинозы (0,3-0,5 %) и по 0,1 % мальтозы, глюкозы и фруктозы.

1.1.2.4. Липиды (жиры) в ячмене содержатся в количестве 2,2-2,5 % по СВ. До 60 % липидов находятся в алейроновом слое, около 30 % в зародыше, и в незначительном количестве они встречаются в цветочной оболочке и эндосперме. Липиды ячменя состоят примерно на 70 % из нейтральных липидов — в основном из триацилглицеридов, глюко- и фосфолипидов (соответственно 10 и 20%). В триглицеридах могут этерифицироваться две или три различные жирные кислоты, в связи с чем число возможных комбинаций различных жирных кислот очень велико. Во время роста зародыша они расходуются частично на дыхание, а частично — на формирование клеток зародыша листка и корешка.

1.1.2.5. Органические соединения, содержащие фосфорную кислоту. Около половины фосфатов присутствует в ячмене в форме фитина (кальциево-магниевого соли инозитфосфорной кислоты), который состоит из циклического инозита и остатков фосфорных кислот. При гидролизе в процессе прорастания зерна фитин составляет основную часть кислотных составляющих (в частности, первичные фосфаты), благодаря которым при солодоращении, а затем в сусле и пиве поддерживается определенное значение pH.

1.1.2.6. Полифенолы или дубильные вещества содержатся в цветочной оболочке и эндосперме. Они составляют всего 0,1-0,3 % СВ, однако оказывают влияние на цвет и вкус пива, а также на его коллоидную стойкость (из-за дубильного

действия и способности осаждать белки). К фенольным соединениям относятся простые фенольные кислоты и высокомолекулярные полифенолы, которые встречаются в свободной или связанной форме. Связанные формы глюкозидов включают антоцианогены, катехины и флавоны, которые в процессе окисления и полимеризации дают соединения с более высокой молекулярной массой. Антоцианогены обладают окрашивающим и осаждающим действием. Благодаря своей окислительной способности полифенолы являются редуцирующими соединениями. В группе полифенолов аналитическими методами можно выявить так называемые «танноиды» с молекулярной массой 600-3000 и 2-10 флавановыми кольцами, обладающие способностью не только осаждать белки, но и имеющие ярко выраженные редуцирующие свойства.

Содержание фенольных соединений зависит от сорта ячменя и от климатических условий. Ячмень, выращенный в районах с морским климатом, характеризуется высоким содержанием полифенолов и танноидов. При особом способе возделывания ячменя с использованием мутации генов, предложенном лабораторией Карлсберг (*Carlsberg-Laboratorien*), биосинтез катехина и процианидина (антоцианогена) в период выращивания ячменя приостанавливается. Такой ячмень по сравнению с обычным дает лишь 12 % содержания антоцианогенов в сусле и пиве и тем самым приводит к значительному улучшению его коллоидной стабильности.

1.1.2.7. Горькие вещества ячменя относятся к классу липоидов. Они обладают антисептическим действием и характеризуются горьковатым вкусом. Эти вещества, сосредоточенные главным образом в цветочной

оболочке, легко растворяются в слабощелочной воде.

1.1.2.8. Белковые вещества ячменя как главная движущая сила биологических процессов имеют большое значение. Несмотря на то что их содержание невелико, они оказывают значительное влияние на все процессы приготовления пива. В результате поэлементного анализа важнейших белков были получены следующие предельные значения: С — 50-52 %, Н — 6,8-7,7 %, N - 15-18 % (в среднем 16 %), S - 0,5-2,0 % и P - 0-1 %. При общем содержании азота в белковых веществах около 16 % содержание азота, полученное по методу Кьельдаля, умножают на коэффициент 6,25, получая общее содержание «сырого» белка в ячмене.

Содержание белка (в пересчете на СВ) в ячмене варьирует от 8 до 13,5 % (содержание общего азота — 1,30-2,15), составляя обычно от 9,0 до 11,5 % (содержание общего азота — 1,45-1,85 %). Бедный белками ячмень (содержание белков ниже

11,5 %) является прекрасным сырьем для приготовления светлого пива солода и пива. Если ячмень содержит слишком мало белка (содержание ниже 9 %), то уменьшается количество азотистых веществ, необходимых для ценообразования и полноты вкуса пива, и появляется хмелевой тон. Богатый белком ячмень (содержание более 11,5%) по сравнению с ячменем, бедным белком, хуже поддается переработке, снижает содержание крахмала в ячмене и в результате получается более темное пиво (иногда с более полным вкусом). Для темных сортов пива требуются ячмень, более богатый белком.

Содержание белка в ячмене зависит главным образом от состава почвы, севооборота, внесения удобрений и погодных условий. Особое значение имеет

продолжительность вегетационного периода от посева до уборки урожая. Белок содержится в оболочке зерна, в зародыше и эндосперме.

Образовавшиеся в ячмене белковые вещества откладываются преимущественно:

- в алейроновом слое (в виде клейковины);
- под алейроновым слоем на внешней стороне эндосперма (в виде физиологического или резервного белка);
- в эндосперме (в виде гистологического или тканевого белка).

Клейковина алейронового слоя, находящаяся под плодовой и семенной оболочками, частично расходуется при проращивании, а оставшаяся часть вместе с запасами тканевого белка переходит в дробину.

Содержание *резервного белка* не постоянно, что обуславливает различный белковый состав ячменя. При солодоращении большая часть резервного белка расщепляется.

Тканевый белок как остаток протоплазмы откладывается преимущественно в мембранах клеток эндосперма и вместе с гемицеллюлозой и гумми-веществами входит в состав этих клеток, что в значительной степени затрудняет растворение.

Соединение двух аминокислот дает дипептид; при продолжении реакции образуется трипептид, тетрапептид и т. д. Пептид, содержащий до 10 аминокислот, называют олигопептидом, а соединения, состоящие из большего числа аминокислот, — полипептидами. Когда цепочка складывается примерно из 100 аминокислот, а молекулярная масса достигает 10 000, говорят о белках. Последовательность аминокислот в полипептидной цепочке называют первичной структурой. Вторичная структура является результатом образования в пептидных цепях водородных

мостиков между водородом аминной и кислородом карбоксильной группы. При наличии водородных мостиков внутри полипептидной цепи образуются «геликальные» структуры. Например, у часто встречающегося α -геликса водородные мостики образуются между каждыми вторыми пептидными связями. В третичных структурах полипептидные спирали свертываются в длинные волокна или клубки, причем прочность структуре придают те же водородные мостики и, прежде всего, ковалентные связи типа дисульфидных мостиков.

Между вторичной и третичной структурами зачастую невозможно провести четкой границы, в связи с чем в настоящее время их объединяют понятием «цепочечная конформация». Простые белки строятся исключительно из складчатых полипептидных цепочек. Большинство белковых веществ, определенным образом переплетаясь или объединяя несколько субъединиц в одно образование, формируются в четвертичную структуру, не образуя ковалентных связей (типа дисульфидных мостиков).

В ячменном зерне имеются следующие белковые фракции: *альбумины* (высокомолекулярные белки, растворимые в чистой воде и слабых солевых растворах), *глобулины* (нерастворимые в чистой воде и экстрагируемые в слабых солевых растворах), *проламины* (нерастворимые в чистой воде и солевых растворах, но растворимые в 50-90 %-ном этиловом спирте и некоторых других разбавленных водой спиртах) и *глутелины* (нерастворимые в нейтральных растворителях и спирте, но растворимые в щелочах с существенным изменением структуры). Каждую из этих групп белковых веществ можно разделить с помощью электрофореза соответственно на 4-7 различных

фракций. Их молекулярная масса составляет от 10 000 до нескольких миллионов. Если альбумины и глобулины содержатся в крахмалосодержащем эндосперме, то проламины и глутелины представляют собой резервные белки ячменя и могут накапливаться в субалейроновом слое и клеточных стенках. Наряду с белками в зерне ячменя присутствуют и протейды (белковые вещества, содержащие азотистые соединения со средней или низкой молекулярной массой). В период созревания они или не полностью превращаются в настоящий белок, откладываясь в виде промежуточных его форм, или образуются при физиологических процессах растворения зерна как продукты расщепления высокомолекулярных белков.

Классификация белковых веществ и продуктов их расщепления производится по их различным химическим и физическим свойствам, по степени расщепления ферментами и по их физиологическим свойствам.

Из-за большой величины молекул белки в растворе проявляют физико-химические свойства коллоидов и не диффундируют через мембраны и стенки клеток. При поглощении или отдаче воды они проявляют способность или неспособность к набуханию. Аминокислоты и белки амфотерны, являясь электрически нейтральными в изоэлектрической точке. Изоэлектрические точки белков различны и определяются значением pH, свойственным данному виду белка. В процессе нагревания белковых растворов происходит денатурирование (или коагуляция) белковых веществ. Денатурирование соответствует переходу от высокоупорядоченного состояния белковых эмульсий к неупорядоченному с активным нарушением строго определенных

вторичных и третичных структур белка, с частичным разрушением дисульфидных связей и водородных мостиков, а также потерей гидратационной воды, связанной полярно через гидрофильные группы. Первая фаза денатурирования наступает при нагревании, изменении рН (например, в изоэлектрической точке), воздействии горьких веществ, металлов, алкоголя, солей, сильных кислот и щелочей, при окислении, при действии адсорбционных сил и механических явлений. Вторая фаза, собственно коагуляция, представляет собой коллоидно-химический процесс. После достижения определенной концентрации денатурированные частички собираются в макромолекулярные частицы, которые сначала появляются как опалесцирующая муть, а затем выпадают в виде хлопьев, что приводит к образованию хлопьевидной взвеси («бруха»), осадка взвесей горячего сула в конце его кипячения.

В процессе проращивания происходит расщепление высокомолекулярных белков протеолитическими ферментами до аминокислот. Расщепление белков при солодоращении продолжается также в процессе затирания.

1.1.2.9. Ферменты являются сложными органическими белковыми веществами и играют важную роль во всех жизненных процессах, в том числе жизнедеятельности клетки в процессе обмена веществ при проращивании ячменя. Они обладают способностью расщеплять высокомолекулярные соединения, но при этом сами не расходуются. Большинство ферментов состоит из протениновой составляющей (апофермента) и небелкового компонента (простетической группы или кофермента). Апофермент определяет специфику субстрата, а простетическая

группа или кофермент — тип реакции. Ферменты простой структуры (например, гидролазы) состоят только из белковых веществ. В них образуется реактивная область функциональных групп различных аминокислот, чтобы фермент смог нацеленно воздействовать на совершенно конкретный субстрат. Эта область должна отличаться определенной пространственной структурой во всем ферментном комплексе; благодаря электронному обмену связь распадается на продукты деления, а неизменившийся фермент вновь вовлекается в реакцию. Действие ферментов в значительной степени зависит от условий окружающей среды (в первую очередь от температуры и реакции субстрата) и ускоряется активаторами, а замедляется ингибиторами реакции.

Ферменты способны действовать лишь в некотором интервале температур, причем каждый фермент характеризуется оптимальной для него температурой, обеспечивающей наиболее благоприятные условия протекания реакций. Если температура ниже или выше оптимальной, то действие фермента ослабляется. Для большинства ферментов оптимальная температура составляет 60-80 °С в зависимости от концентрации субстрата, степени разведения, кислотности, длительности воздействия, а также присутствия защитных коллоидов, ингибиторов и образованных продуктов расщепления. Каждый фермент характеризуется приемлемым для него значением рН, при котором его действие проявляется наиболее эффективно, но оно меняется с изменением температуры. На ход реакции влияют как концентрация ферментов, так и концентрация субстрата.

Ингибирующее действие на активность ферментов оказывают соли тяжелых металлов (меди, олова), окислители

и вещества, изменяющие коллоиды. Это же действие, особенно при высоких температурах, оказывают высокие концентрации спирта, эфира и формальдегида, а также продукты распада, катализируемого определенными ферментами. *Активаторы* (кофакторы) могут активировать ферменты, присутствующие в неактивной, «блокированной» форме. Активаторами могут выступать определенные ионы, например K^+ , Na^+ , NH_3^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mo^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Cl^- , V^{3+} . Для активации определенных гидролаз очень важны сульфгидрильные группы.

Ферменты могут быть растворимыми (например, лиоферменты, переходящие при затирании непосредственно в раствор) или нерастворимыми (в частности, десмоферменты, присоединенные к протоплазме клеток, которые после предварительного расщепления высвобождаются и становятся активными).

Количество активных ферментов, изначально присутствующих в зерне ячменя, невелико. Причиной их образования при проращивании является потребность зародыша в питательных веществах после расходования растворимых питательных веществ эндосперма. Существующие, но неактивные ферменты активируются (например, β -амилаза и некоторые протеиназы — под действием сульфгидрильных групп), однако большинство ферментов образуется благодаря выделению гиббереллиноподобной субстанции, индуцирующей развитие в алейроновом слое глюканаза, расщепляющих клетчатку, α -амилазы, эндопепсидазы и кислой фосфатазы. Кроме того, ферменты дыхательного комплекса играют большую роль в процессе обмена веществ.

Ферменты в зерне распределены неравномерно — наибольшая их часть в зерне

в состоянии покоя содержится вблизи зародыша. Обнаружение и классификация ферментов возможны после их выделения в специфических субстратах.

Большая часть минеральных веществ ячменя состоит из фосфата калия (56 %) и кремниевой кислоты (в виде SiO_2 , около 26 %). Они могут существовать в форме первичных, вторичных и третичных фосфатов и образовывать химическую буферную систему, причем основную роль в поддержании кислотности играют первичные и вторичные фосфаты. Неорганические компоненты необходимы для питания зародыша и дрожжей.

Влажность ячменя может варьировать от 12 до 20 %. Ячмень из районов с теплым климатом и незначительным количеством осадков характеризуется влажностью 12-14 %, а из районов с влажным — 16-18 % и даже более 20 %. Влажность ячменя зависит от погодных условий конкретного года, а также от способа уборки и обработки ячменя после сбора урожая. Высокая влажность экономически невыгодна, так как в этом случае в ячмене содержится меньше сухих веществ. Влажный ячмень нестойк при хранении, обладает низкой энергией прорастания, высокой водочувствительностью и медленно преодолевает состояние покоя при прорастании. Хранение неподсушенного ячменя сопряжено с большими трудностями, поскольку такое зерно склонно к самонагреванию и восприимчиво к распространению плесени, следствием чего является ухудшение запаха и всхожести. Влажный ячмень требует постоянного регулирования температуры и частого ворошения. Процесс проращивания солода из такого ячменя более труден и по сравнению с сухим ячменем связан с более высокими потерями.

1.1.3. Свойства ячменя и их оценка

Для надежной оценки ячменя важен правильный отбор средней пробы из мешков или нескольких мест бурта с помощью пробоотборника Барта. При поставках зерна насыпью в контейнерах, грузовиках или на судах используют автоматический пробоотборник. Полученные пробы хранят до проведения исследования в герметичных емкостях.

1.1.3.1. Внешние признаки

а) Внешний вид. Поверхность зерна ячменя должна быть блестящей, что свидетельствует о том, что во время созревания и уборки стояла благоприятная сухая погода и что зерно характеризуется, скорее всего, низким содержанием влаги.

б) Цвет должен быть светло-желтым. Для незрелого зерна характерен зеленоватый цвет, а ячмень, который незадолго до уборки или в ее ходе попал под дождь, может изменить окраску, и на зернах появляются многочисленные бурые пятна. Подобная «кrapчатость» может вызываться и ростом на поверхности зерна микроскопических грибов, а матово-серое окрашивание зерен указывает на поражение плесенью. К очень светлому, «белому» ячменю следует относиться с осторожностью, так как он зачастую незрелый и при жестком, стекловидном состоянии эндосперма проявляет впоследствии слабую ферментативную активность.

в) Запах нормального ячменя свежий, напоминающий запах соломы. Попавший под дождь ячмень, чрезмерно влажное и хранившееся в плохих условиях зерно имеет затхлый или плесневелый запах.

г) Свойства цветочной оболочки. Хороший пивоваренный ячмень характеризуется

тонкой оболочкой и тонкими бороздками на спинной стороне зерна. Чем тоньше цветочная оболочка ячменя (доля цветочной оболочки 7-9 %), тем выше качество пива. Небольшие поперечные бугорки свидетельствуют о высокой экстрактивности, незначительном количестве белка и низкой влажности. Высокое содержание цветочной оболочки (11-13 %) для производства качественного светлого пива является нежелательным. У озимого ячменя содержание цветочной оболочки обычно на 0,5-1 % больше, чем у аналогичного ярового, а у многорядного ячменя доля цветочной оболочки зачастую еще выше.

д) Отсутствие примесей. Ячмень должен быть очищен от примесей других зерен, от семян сорняков, от вредителей растений, а также от поврежденных и проросших зерен. Проростки (зерна, начавшие прорастать еще в поле) опознают по высохшим остаткам зародышевого корешка, но поскольку эти корешки во время транспортировки зерна зачастую перетираются, ячмень необходимо проверять на наличие «скрытых проростков», то есть на развитие зародышевого листка. Его можно обнаружить визуально, например, замачиванием в теплой воде, при помощи сульфата меди или путем определения активности липазы. Как правило, такие зерна характеризуются низкой способностью к прорастанию или чрезмерным ростом зародышевого листка. Зерна характеризуются также разной растираемостью, и при замачивании вода может беспрепятственно проникать в зерно, а при прорастании наблюдается аномальный процесс обмена веществ (что заметно по запаху) и интенсивное образование плесени (что впоследствии при получении пива может привести к чрезмерному пенообразованию). От ячменя с более чем 4 % проростков следует отказываться.

е) *Треснувшие зёрна* могут встречаться в ячмене вследствие выпадения осадков на стадии созревания зерна. Такие трещины, как правило, продольные, и эндосперм оказывается незащищенным и более подвержен росту микроорганизмов при хранении, в процессе замачивания и проращивания. Кроме того, у таких зерен существует риск избыточного водопоглощения, и от ячменей, содержащих более 3 % треснувших зерен, следует отказываться.

ж) *Однородность*. Смешивание ячменя различных сортов, выращенного в разных регионах, и ячменя разных годов сбора урожая отрицательно сказывается на солодоращении. Кроме того, недопустимо использовать смеси ячменя с разным содержанием белка, в том числе подсушенного и неподсушенного ячменя. Чистоту сорта можно определить по морфологическим признакам (основанию зерна, базальной щетинке, чешуйкам, зубчикам на спинной стороне), а также по способности к набуханию, жесткости и водочувствительности ячменя. Достаточно надежное заключение о сорте дает отделение фракции проламина методом электрофореза.

1.1.3.2. Механическое исследование

а) *Размер и однородность зёрен*: чем округлее ячмень, тем выше содержание в нем крахмала и экстрактивность и, соответственно, его пивоваренная ценность. Высокая влажность ячменя зачастую создает ложное представление об объеме зерен. Размер и однородность зерен ячменя определяют просеиванием через три сита с отверстиями 2,8, 2,5 и 2,2 мм. Ячмень считается однородным, если на первых двух ситах (1 сорт) остается больше 85 % зерна. Чем выше доля зерен размером более 2,8 мм, тем большей экстрактивностью обладает солод из этого ячменя.

б) *Качество эндосперма*. Зерна бывают мучнистые, стекловидные и полустекловидные. У большей части ячменя значителен процент стекловидных и полустекловидных зерен, однако само по себе это мало информативно, так как исходная стекловидность зерна может быть доброкачественной (обратимой) или вредной (необратимой). Обратимую стекловидность можно устранить замачиванием в течение 24 ч с последующим осторожным просушиванием. Качество эндосперма определяют при помощи фаринотома; мучнистость ячменя определяют также измерителем твердости (мюрбиметром *Charon*). Разделение на категории по твердости позволяет получать более однородные партии ячменя, которые, в свою очередь, дают более однородный по растворимости солод.

Качество эндосперма устанавливают также просвечиванием с помощью дифаноскопа. Стекловидные зерна или их участки проницаемы для лучей света, а мучнистые кажутся темными.

Белый мучнистый эндосперм более предпочтителен, чем стекловидный. Причиной стекловидности зачастую бывает очень сухая и жаркая погода во время созревания ячменя и уборки урожая, а также неудовлетворительная структура почвы.

Насыпная масса (масса гектолитра) ячменя составляет 66-75 кг (для пивоваренного ячменя она редко превышает 68-72 кг). Предпочтение отдают ячменю с более высокой массой гектолитра.

Масса тысячи зерен воздушно-сухого ячменя составляет 35-48 г, а безводного — 30-42 г. Воздушно-сухой ячмень при массе тысячи зерен 37-40 г считается легким, при массе 40-44 г — средним, а начиная с 45 г — тяжелым. Масса тысячи зерен — признак сорта, и ее с успехом используют для определения соответствия

стандартам и расчета выхода солода. Более предпочтителен ячмень с большим показателем массы тысячи зерен.

Прорастаемость. Определение прорастаемости химическими методами (например, с помощью перекиси водорода, динитробензола или хлорида тетразоля) позволяет определить количество жизнеспособных зерен в ячмене, которое не должно быть ниже 96 %. Прорастаемость — важнейшее свойство пивоваренного ячменя. Непроросшие зерна, как называемые «непроростки», солода не дают, оставаясь непроросшими зернами.

Энергия прорастания является показателем количества зерен, которое действительно проросло в определенный период времени, например в течение 3 или 5 дней. Как индикатор готовности ячменя к прорастанию она должна быть максимально близкой к всхожести.

Водочувствительность ячменя определяют по Поллоку (в 4 и 8 мл воды замачивают по 100 зерен). Через 120 ч получают разницу в увлажнении зерен, проросших при обработке их 4 и 8 см³ воды (до 10 % — очень низкая водочувствительность, 10-25 % — небольшая, 26-45 % — нормальная и выше 45 % — очень высокая водочувствительность. Полученный результат надежен лишь в том случае, если достигнута максимальная энергия прорастания). Этот тест отражает чувствительность ячменя к подаче воды в процессе замачивания. В значительной степени водочувствительность зависит от стадии готовности зерна к прорастанию и от погодных условий в период созревания ячменя и сбора урожая.

Способность к набуханию определяют по содержанию воды в пробе ячменя через 72 ч при замачивании по применяемой схеме (метод Гартонга-Кретчмера). Способность к набуханию считается очень

хорошей при количестве воды в набухшем зерне более 50 %, хорошей — при 47,5-50 %, удовлетворительной — при 45-47,5 % и недостаточной — при менее 45 %.

1.1.3.3. Технохимические исследования

Содержание воды обычно составляет около 15-16 % (в сухие годы — 13-14 %, во влажные — 16-20 %). Содержание воды определяют для расчета сухого вещества при поступлении ячменя на производство или хранение и при проведении всех технохимических исследований.

Содержание белка в пересчете на сухое вещество ячменя составляет 8-13,5 % (в пивоваренном ячмене — 9-11 %). Большее содержание белка снижает выход экстракта солода и затрудняет его переработку, так что желаемое растворение достигается лишь с более высокими потерями при солодоращении. При производстве светлого лагерного пива содержание белка 11-11,5 % может оказаться удовлетворительным, но пиво нильзенского типа должно вырабатываться из ячменя с содержанием белка менее 11%. Желательные свойства темных сортов пива (полнота, цвет, аромат) могут быть получены при переработке ячменя с высоким содержанием белка (11,5-12 %).

Содержание крахмала в ячмене составляет в среднем 58-66 % от СВ.

Содержание экстракта. Точные данные о содержании экстракта ячменя получают в результате лабораторного солодоращения. Для уточнения зависимости ожидаемой экстрактивности солода от известных свойств ячменя Бишопом была предложена формула

$$E = A - 0,85P + 0,15m,$$

где А — постоянная, значение которой в зависимости от сорта может находиться в пределах 84,0-86,5 [262]; Р — содержание

белка в пересчете на СВ; m — масса тысячи зерен.

Содержание экстракта составляет 72-80 % от СВ и, таким образом, в среднем на 14,75 % выше содержания крахмала.

1.2. Подготовка ячменя к солодоращению

1.2.1. Приемка ячменя

Наиболее распространенным видом доставки ячменя является бестарная перевозка. Для быстрой разгрузки транспортных средств необходимо предусмотреть несколько вместительных бункеров для ячменя, способные вместить содержимое одной транспортной единицы (1-8 бункеров по 10-25 т ячменя).

Доставленный ячмень подвергают контролю взвешиванию с помощью мостовых весов, на которые заезжают сначала груженые, а затем разгруженные автомашины, но чаще автоматические весы устанавливаются в приемном транспортном устройстве и на этих весах взвешивают зерно до и после предварительной очистки.

Рекомендуется проверять доставленное сырье на соответствие принятым образцам, причем отбор достоверной средней пробы осуществляют с помощью пробника. Быстро определить влажность и всхожесть ячменя, а также содержание в нем белка позволяют ускоренные методы. Тем самым можно спланировать сушку и, соответственно, охлаждение, храня на складе ячмень в зависимости от содержания в нем белка

1.2.2. Транспортное оборудование

На солодовенном предприятии задачи транспортировки могут различаться

в зависимости от типа перемещаемого материала: ячменя, свежепросоженного или высушенного солода, объемы которых соответствующим образом рассчитываются. Для повсеместно используемого в настоящее время бестарного транспортирования ячменя применяют механическое и пневматическое подъемно-транспортное оборудование.

На *механических* установках горизонтальное и вертикальное транспортирование производится при помощи различных устройств. *Горизонтальное* транспортирование осуществляется шнековыми и лотковыми цепными ленточными транспортерами, реже — по трубам, скребковыми и вибротранспортерами. Подъем в вертикальном направлении осуществляют с помощью ковшового транспортера. Перемещать ячмень на предприятии в любом направлении без применения ручного труда позволяет комбинирование устройств для транспортирования в горизонтальном направлении с ковшовыми устройствами.

Механические устройства отличаются высокой производительностью (до 100 т/ч) и потребляют небольшое количество энергии (особенно в случае комбинирования лотковых цепных и ковшовых транспортеров). Транспортируемый материал не повреждается.

При использовании пневматических транспортных устройств материал перемещается по трубам под действием разрежения или избыточного давления. Поток воздуха создается поршневыми воздушными насосами или компрессорными установками с одно- или многоступенчатыми радиальными вентиляторами. Разрежение применяется для транспортирования материала из разных точек в одно место, а избыточное давление — в обратном случае. Широкие возможности открывает

комбинирование обеих систем. Потребление энергии при пневматическом способе транспортирования в 10-12 раз выше, чем у механических установок. При высокой скорости подачи воздуха и при наличии острых колен или отводов воздухопроводов существует опасность повреждения ячменя.

1.2.3. Очистка и сортирование ячменя

Поступивший на солодовенное предприятие ячмень не пригоден для солодоращения без специальной подготовки, так как в нем содержатся загрязнения (камни, пыль, ость, металлические предметы и т. д.), а также примеси, затрудняющие процесс солодоращения и снижающие качество солода — поврежденные зерна, их половинки, посторонние виды зерновых, семена трав. До начала проращивания все загрязнения и примеси следует удалить. В период уборки урожая, когда на солодовенное предприятие поступают большие объемы ячменя, при приемке возможна лишь предварительная грубая очистка зерна. Очистное устройство рассчитывают с учетом производительности приемных транспортных устройств. Аппарат для предварительной очистки служит для удаления загрязнений, затрудняющих хранение зерна, работу машин и механизмов, а также способных повредить элементы транспортеров и весы. Перед переработкой ячмень подвергается основной очистке и сортированию. При хранении ячменя в силосах предварительная грубая очистка зерна является обязательной.

Устройства для очистки ячменя устанавливаются в пылезащитном исполнении в закрытых помещениях. Производительность предварительной очистки,

как и приемных транспортных устройств, должна соответствовать объемам ежедневно поставляемого ячменя, а базой расчета производительности устройств основной очистки служит количество ячменя, составляющего суточную потребность замочного отделения.

Устройства для очистки состоят из нескольких частей, каждая из которых позволяет отделять только один определенный вид загрязнений. На небольших предприятиях все операции выполняются в одной машине, а на крупных производствах каждый аппарат устанавливается отдельно, и в этом случае очистное отделение может занимать несколько этажей. Применяемые виды оборудования рассмотрены далее.

1.2.3.1. Оборудование для предварительной очистки и сортировки (аспиратор) состоит из одинарного или двойного сита с продольными отверстиями размером 5,0 × 25 мм и 1,5 × 25 мм, приводимым в сотрясательное или колебательное движение с помощью эксцентрика или высокочастотной вибрации. Современные установки представляют собой вибрационные сита предварительной очистки, в которых благодаря вибрации достигается высокая производительность просеивания. Удаление сорных примесей осуществляется воздушным потоком, создаваемым в вертикальном воздушном сепараторе. Расход воздуха в нем при производительности 10 т/ч составляет около 45 м³/мин.

Аналогичную задачу выполняют также *поточные сепараторы*. Под действием собственной массы материал падает в шахту глубиной около 1 м, причем сбоку на материал направляется сильный поток воздуха. Камни и металлические частицы отклоняются меньше,

чем зерна ячменя, солома и солома, и с помощью направляющих стенок поток ячменя разделяется на три фракции. Между зерном и загрязнениями (соломой, половиной, остью и т. д.) образуется зона смеси, и последняя по трубопроводу вновь подается в машину. Легкие загрязнения (пыль и песок) попадают с воздушным потоком в вентилятор, отбрасываются к внешним стенкам воздуходувки и удаляются. Очищенный воздух на 95 % может быть использован повторно. При всей простоте конструкции такая установка имеет достаточную производительность.

1.2.3.2. Остеотделитель состоит из била, медленно вращающегося в барабане с рифленой поверхностью и вызывающего трение зерен о стенки барабана, что приводит к обламыванию остей, удалению грязи и внешних оболочек. При обработке сухого или слабого ячменя во избежание раскалывания зерен остеотделитель необходимо отключить; преимущество этого устройства состоит в возможности регулировать число оборотов.

1.2.3.3. Мощный магнитный сепаратор обычно представляет собой электромагнит в виде вращающегося барабана, к которому притягиваются все металлические предметы.

1.2.3.4. Камнеотборник предназначен для удаления мелких камней (размером с ячменное зерно). Зерно подается по всей ширине наклонного сита, которое продувается воздухом, поддерживающим ячмень во взвешенном состоянии. Более тяжелые частицы (камни и металлические предметы) остаются на сите и перемещаются вверх, где отводятся из машины. Необходимый расход воздуха

в камнеотборнике производительностью 10 т/ч составляет 150 м³/мин.

1.2.3.5. Триер служит для удаления шарообразных загрязнений — половинок зерен ячменя и семян сорняков. Удаление половинок зерен и шарообразных частиц осуществляется в триерных цилиндрах из стальных листов с ячейками в виде карманов. Примеси собираются в ячейки, из которых они попадают в приемный желоб и отводятся из триера шнеком. Окружную скорость 0,55 м/с подбирают с таким расчетом, чтобы сила тяжести настолько превышала центробежную силу, что попавшие в ячейки семена и половинки зерен гарантированно падали в приемный желоб. Современные ультратриеры устанавливаются горизонтально. Если при этом путем вращающегося устройства ворошилки удастся избежать образования вращающегося слоя, то площадь эффективной сортирующей поверхности увеличивается с 20-25 до 30 %.

Сортирующий эффект триера любой конструкции зависит от формы ячеек, причем штампованные ячейки должны иметь острые края. Следует учитывать, однако, неизбежный износ поверхности ячеек под действием кремниевой кислоты, содержащейся в плодовых оболочках. *Привод триера* должен быть равномерным, без толчков. Лучше всего для этого подходят звездчатые или конические зубчатые передачи. *Полезная площадь сортирования* относительно невелика и увеличивается благодаря высокой окружной скорости и наличию вращающегося устройства ворошилки. Условием надежной работы триера является *правильная регулировка приемного лотка*. Большое значение для высококачественного сортирования имеет правильная установка приемного желоба.

Если в отходах содержится много нормальных зерен, лоток устанавливают выше, в направлении вращения барабана. Если же в ячмене остаются семена сорняков или половинки зерен, то лоток следует опустить. Большое значение имеет и *степень загрязнения зерна*, чем больше степень загрязнения ячменя, тем ниже производительность триера. В засушливые годы в неочищенном ячмене содержится больше колотых зерен, так как при обмолоте обезвоженные зерна легко повреждаются. Партии утолщенного (полного) ячменя труднее сортировать. *Производительность* триера зависит не только от полезной площади и степени загрязнения зерна, но и от равномерности подачи ячменя в агрегат, в связи с чем его оснащают регулируемым дозирующим устройством. Следует избегать перегрузки триера и его работы на холостом ходу.

Высокопроизводительный триер комплектуют *дополнительным триером* аналогичной конструкции, но меньшего размера. Он дополнительно сортирует отходы, полученные при очистке зерна на главном триере, и возвращает хороший ячмень из отходов. Размер его сортирующих отверстий обычно составляет 5,75 мм.

Производительность высокопроизводительного триера составляет 800 кг/м^2 в час, то есть примерно в четыре раза выше, чем у триера старой конструкции с цилиндром из оцинкованного железа и фрезерованными ячейками. Производительность триера старой конструкции обуславливается относительно небольшим наклоном цилиндра (6–10 %) и низкой окружной скоростью (0,3 м/с).

Контроль сортирования заключается, с одной стороны, в выявлении возможных загрязнений, а с другой — в проверке наличия в отходах целых ячменных зерен.

Удаление колотых зерен и семян обычно производят перед сортированием.

1.2.3.6. Устройство обеспыливания включает *вентилятор*, создающий поток воздуха и удаляющий из ячменя пыль и легкие загрязнения, и *пылесборники*, в которых пыль отделяется и отводится (по возможности в месте ее возникновения). Удаление пыли является необходимым для уменьшения износа оборудования, а также во избежание риска пожаров, взрывов и инфицирования.

Простейшими пылесборниками являются *пылевые камеры*. В эти изолированные камеры поступает запыленный воздух, там его скорость уменьшается, частицы пыли оседают, а обеспыленный (хотя и не полностью) воздух выводят в атмосферу.

Другой тип пылесборника — это *циклон*, представляющий собой изготовленный из оцинкованной стали цилиндр, внизу переходящий в конус. Попадая в центробежный сепаратор, запыленный воздух в верхней части получает обратное направление и закручивается. Загрязнения отбрасываются центробежной силой к стенкам, падают вниз и удаляются через шлюзовой затвор, а очищенный воздух покидает циклон. Поскольку тончайшая пыль в циклоне не отделяется, отработанный воздух в помещения не возвращают, а удаляют в атмосферу. Повторную очистку воздуха рекомендуется производить с помощью пылеулавливающего фильтра, устанавливаемого в виде батарей из емкостей и характеризуемого тем же принципом действия, что и циклон. При меньшем диаметре емкости в нем достигается значительно более высокая скорость воздуха и повышается эффект отделения частиц, включая и тонкую пыль.

Тонкой очистки воздуха добиваются также с помощью рукавных пылеулавливающих фильтров. Форма рукава позволяет разместить большую фильтрующую поверхность в небольшом помещении. Различают две системы фильтров: в *напорные рукавные фильтры* воздух поступает сверху, проходит через рукав, а пыль задерживается на их внутренних стенках. Поверхность фильтра очищается решеткой, перемещающейся вверх и вниз. У *всасывающих фильтров* запыленный воздух попадает по системе рукавов в герметичный корпус, а очищенный воздух подается оттуда на сторону всасывания вентилятора. Внутренняя поверхность фильтров задерживает пыль, удаляемую с помощью простейшего отряхивающего механизма: нижняя часть рукавов укрепляется на общем основании — плите с отверстиями по диаметру рукавов, а верхние закрытые концы рукавов закреплены на несущих крестовинах, опирающихся с помощью жестких стержней на плиту-основание. Фильтрующие поверхности очищаются от скопившейся пыли автоматически с помощью механического или пневматического устройства. Всасывающие рукавные фильтры по сравнению с напорными характеризуются более высокой производительностью пылеудаления.

К системе улавливания пыли необходимо подключить не только отдельные аппараты отделения зерноочистки, но и все транспортное оборудование, silosы и сушилки ячменя — только таким образом можно обеспечить чистоту производства. Производительность установок улавливания пыли должна соответствовать заданным требованиям (по количеству очищаемого воздуха, числу и производительности подключенных аппаратов).

Максимальное содержание пыли в воздухе не должно превышать 50 мг/м^3 или (в жилых районах) 20 мг/м^3 . Если для достижения первого значения достаточно циклонов, то для последнего требуется применение тканевых фильтров, позволяющих добиться значения до 10 мг/м^3 . Количество пыли в очищенном воздухе составляет около 0,02 %.

1.2.3.7. Сортирование ячменя необходимо для обеспечения равномерности замачивания, проращивания и измельчения солода, а также высокого выхода путем отделения слабых зерен. Сортирование ячменя осуществляют с помощью цилиндрических или листовых сит, располагаемых по-разному: цилиндры вращаются вокруг собственной оси, а квадратные, круглые или восьмиугольные сортировочные листы размещают горизонтально друг над другом и с помощью эксцентриков приводят в колебательное движение (плоский сепаратор планзихтер).

Ячменные зерна, размер которых больше ширины щелей, остаются на ситах, а слабые зерна проходят через них. Неочищенный ячмень обычно разделяют на три сорта (фракции) с помощью двух сит с разной шириной щелей. К I сорту относится собственно пивоваренный ячмень (размер зерен более 2,5 мм), ко II сорту — зерна размером 2,2–2,5 мм, а в отходы попадают слабые зерна (с толщиной менее 2,2 мм), непригодные для солодоращения (кормовой или фуражный ячмень).

В *сортирующих цилиндрах* барабанных сит ячмень направляется внутрь цилиндра, где происходит его сортирование. Для *производительности сортирования* решающее значение имеют следующие факторы.

Материал, технология изготовления и толщина листа, из которого выполнено

сито. Сита изготавливают из стальных листов с отверстиями длиной 25 и шириной 2,5 или 2,2 мм. Большое значение имеет и толщина листа, так как точность сортирования возрастает с ее увеличением. Нормальной считается толщина листа в 1 мм, которая по всему листу должна быть одинаковой. С увеличением толщины листа качество просеивания улучшается. Под действием кремниевой кислоты, содержащейся в плодовой оболочке, прорези постепенно расширяются.

Скорость, с которой поток зерен распределяется по площади сортирования, не должна быть очень высокой. Она определяется окружной скоростью (0,7 м/с), а также расположением и конструкцией планок или гребенок, с помощью которых осуществляется поступательное движение просеиваемого материала и непрерывная загрузка сит. Современные цилиндры имеют горизонтальную конструкцию, а прежде движение потока ячменя было обусловлено наклоном цилиндра (6-10 %). Вращательное движение должно быть равномерным, в связи с чем рекомендуется использовать привод с зубчатыми или цилиндрическими передачами.

Часовая производительность зависит от загрузки ячменя, которая должна быть очень равномерной и не слишком интенсивной. Ячмень должен поступать тонкой струей так, чтобы каждое зерно пришло в соприкосновение с сортирующей поверхностью. Производительность для каждого сорта принимается порядка 380-400 кг/м² в час.

Эффективная площадь сортирования составляет лишь около 1/4 длины окружности барабана и снижается из-за увеличения размера щелей. Чтобы избежать этого, применяют специальные сбрасыватели (например, деревянные валки

или щетки), которые прокатываются по вращающемуся сортирующему цилиндру. Даже небольшие вмятины на нем отрицательно сказываются на производительности.

Состояние/кондиция ячменя. Большое влияние на результаты сортирования оказывает исходное состояние ячменя. Чем неравномернее и загрязненнее ячмень, тем труднее его сортировать, а к степени чистоты и выравненное™ ячменя следует предъявлять высокие требования.

Сильное отклонение партии ячменя от I и II сорта вынуждает в некоторых случаях отойти от принятой ширины отверстий сит (2,5 и 2,2 мм) и выбрать меньшие величины (например, 2,4 и 2,0-2,1 мм), что позволяет учесть особенности неблагоприятного года и повысить экономический эффект сортирования.

Плоский сепаратор (планзихтер) представляет собой систему расположенных друг над другом прямоугольных или квадратных сит, приводимых в колебательное движение эксцентриковым колебателем, установленным перпендикулярно к приводному валу. Распределение материала на поверхности системы сит благоприятное, а чередование продольных и поперечных отверстий способствует повышению качества сортирования. Каждое сито состоит из трех элементов: собственно ситового листа с распределительным диском, ситовой рамы, которая разделена на отдельные поля, и сборника, из которого просеянная масса по боковым каналам направляется на сита. Производительность такого плоского сепаратора выше, а занимаемая площадь меньше, чем у сортирующего цилиндра. Аппарат производительностью 10 т/ч потребляет около 3 кВт энергии.

В 1970-е г. появился сепаратор с двумя или четырьмя круглыми или восьмиугольными ситовыми дисками, горизонтально закрепленными на центральном валу. Диски обычно разделены на 8 заменяемых ситовых сегментов, опирающихся в центре на среднюю стойку. Загрузка осуществляется через центральную стойку. Движение сит приводится в действие с помощью эксцентрикового привода с горизонтальным ходом по окружности 80 мм, перемешивание сортируемой массы — с помощью лучеобразно расположенных отражательных гребенок. Благодаря зигзагообразному движению, совершаемому сортируемой массой между отражателями от центра к краям ситового диска, путь каждого зерна многократно превышает длину сита. Кроме того, гарантируется эффективное перемешивание массы отражателями, и поэтому каждое зерно независимо от его плотности обязательно соприкасается с ситом.

Производительность подобной установки достигает 12 т/ч и может быть увеличена путем расположения нескольких установок друг над другом. Энергопотребление отдельной установкой составляет около 2 кВт.

Количество отходов в обычные годы колеблется от 0,5 до 1,0 %, в неблагоприятные годы оно приближается к 4 %, а в годы с обильными осадками доходит до 10 %. Доля ячменя II сорта также колеблется в зависимости от погодных условий и составляет в среднем около 10-15 %.

Контрольное просеивание проводят при ходе сита 18-22 мм и частоте вращения 300-320 об/мин в течение 5 мин с использованием нескольких средних проб по 100 г, правильно, объективно и репрезентативно отобранных. Оборудование для очистки ячменя требует постоянного контроля и ухода.

1.2.4. Хранение ячменя

Рабочий или мастер, ответственный за солодоращение, должен заботиться о правильном складировании и хранении ячменя с учетом экономических и технологических требований. Различают хранение свежееубранного ячменя до окончания периода покоя и хранение готового к проращиванию и солодоращению ячменя до момента переработки.

Необходимую для солодоращения наибольшую энергию прорастания ячмень приобретает в ходе правильного хранения, которое в зависимости от свойств сорта и условий роста и созревания может длиться неделями. Состояние покоя — это естественная самозащита от прорастания зерен на стебле при неблагоприятных погодных условиях в период созревания и уборки ячменя.

Во время созревания ячменя на стебле низкомолекулярные вещества трансформируются в высокомолекулярные запасные вещества. Во время созревания ячменя на стебле происходит перестройка низкомолекулярных соединений в высокомолекулярные запасные вещества зерна. Большинство ферментов (прежде всего амилазы, сахаразы, целлюлазы, а также ферменты обмена веществ) в стадии полной, или «мертвой», спелости проявляют незначительную активность. Это объясняется тем, что гиббереллины, способные активировать деятельность ферментов, в стадии созревания содержатся еще в незначительных количествах или их действие блокировано специальными тормозящими рост веществами («дорминами»), например абсцизовой кислотой (ABA) некоторых терпенов. Если же в ходе дозревания или соответствующей обработки ячменя, направленной на прекращение периода покоя, тормозящие

вещества и ингибиторы разрушаются или связываются, количество гиббереллинов возрастает, и процесс прорастания протекает в описываемой ниже последовательности (см. раздел 1.4.1).

Важную роль играют также плодовая и семенная оболочки, которые в стадии покоя препятствуют доступу кислорода к зародышу.

Процессы дозревания внешне проявляются в уменьшении содержания влаги в ячмене и выделении CO_2 . При этом внутри зерна происходит ферментативное расщепление основных веществ и их превращение в растворимые субстанции, используемые для развития зародыша. За счет расходования основных веществ образуются небольшие полости, обуславливающие способность зерна ячменя к набуханию.

Период покоя может продолжаться от нескольких недель до нескольких месяцев и зависит от погодных условий во время созревания и уборки урожая, а также от сорта ячменя. Физиологические особенности прохождения периода послеуборочного дозревания в зерне непосредственно отражаются на формировании одного из основных свойств пивоваренного ячменя — водочувствительности, поскольку характеристики «периода послеуборочного дозревания» и водочувствительность неразрывно связаны между собой.

В *основной период покоя* при послеуборочном дозревании зерна его зародыш не готов к прорастанию даже при оптимальных условиях (доступе кислорода, температуре и влажности). Основной период покоя может быть прерван путем добавления 0,05 %-ного раствора сероводорода или раствора других тиолов, благодаря чему большое количество кислорода оказывается непосредственно

в зародышевой части зерна, а также нагреванием ячменя или добавлением ростовых веществ, например гибберелловой кислоты. В Германии разрешены только физические методы прерывания периода покоя: нагревание, удаление цветковой, плодовой и семенной оболочек или их прокалывание вблизи зародыша.

Водочувствительность тесно связана со способностью зерна к набуханию, которая, в свою очередь, зависит от степени созревания зерна. При переувлажнении ячменя прорастаемость ячменя вследствие чрезмерного увлажнения зародыша прекращается. Водочувствительный ячмень хорошо прорастает в атмосфере кислорода; если цветочная оболочка удалена, зерна прорастают так же хорошо при наличии влаги и в обычной воздушной атмосфере. Эти данные свидетельствуют, что для проникновения кислорода в зерно главным препятствием являются именно цветочная оболочка и вода на поверхности зерна, однако в насыщенной воздухом воде водочувствительность не понижается. Нагревание может привести к улучшению только в том случае, если одновременно проводится сушка ячменя.

При надлежащем хранении ячменя энергия прорастания все в большей степени приходит в соответствие с абсолютной способностью к прорастанию. При этом следует также обеспечить способность к прорастанию на уровне более 96 % от первоначального. Как правило, водочувствительность достигает наибольшего значения в конце периода покоя и она ослабевает только после достижения максимальной энергии прорастания.

Ячмень в период послеуборочного дозревания и в последующий период хранения до переработки следует хранить без потери его свойств. Зерно, достигшее готовности к прорастанию, — не

мертвая материя, которая может храниться в любых условиях, а живой организм, дыхание которого осуществляется по хорошо изученным законам. Анаэробное (интрамолекулярное) дыхание отрицательно действует на зародыш, который сначала отравляется, а затем отмирает.

Решающее значение для интенсивности дыхания имеют влажность и температура ячменя. Повышение влажности на 2 % увеличивает потери при хранении в 80 раз, а подъем температуры на 12 °С — лишь в 5 раз. Предельно допустимой влажностью, при которой хранение ячменя протекает без существенных потерь или изменений для зерна, считается 14–15 %. Предельно допустимая температура составляет около 15 °С. При температуре выше 18 °С существует опасность интенсивного развития микроорганизмов — плесневых грибов и бактерий, обуславливающих затхлый запах. Если при низких значениях температуры и влажности дыхательная активность ячменя и расход веществ незначительны, то при повышении его температуры и влажности происходит неблагоприятное изменение внутренних свойств зерна: активируется действие ферментов, зерно насыщается растворимыми продуктами распада и утрачивает твердость вследствие увлажнения и нагревания. Кроме того, в условиях недостаточной вентиляции концентрация выделяющегося CO₂ повышается, дыхание зерна все больше и больше переходит на анаэробный тип обмена веществ. В результате значительно снижается способность ячменя к проращению.

В существующих условиях уборки ячменя комбайнами решающее значение имеет как можно более раннее подсушивание/подвяливание ячменя с содержанием влаги более 15 %, с учетом того, что в странах континентальной Европы достижение

требуемых низких температур раньше октября-ноября представляется проблематичным. Как правило, естественное холодное хранение возможно в период с ноября по март, в связи с чем весной целесообразно не перемешивать охлажденное зерно во избежание его нагрева. Перед закладкой на хранение ячмень необходимо предварительно очистить, так как семена сорных растений нередко оказываются более влажными, чем сам ячмень, что затрудняет его просушивание. Ячменная пыль способствует размножению микроорганизмов.

1.2.4.1. Искусственное охлаждение ячменя необходимо в случае недостаточной производительности имеющейся сушилки для просушивания ячменя сразу после уборки. Максимальная продолжительность хранения «без повреждения зародыша» составляет при влажности зерна 20 % и температуре 20 °С всего 9 сут, а при температуре 10 °С — уже 20 сут. Поэтому, если параметры влажного ячменя находятся в зоне риска, его необходимо срочно просушить или охладить. Ячмень с относительно низкой влажностью (14 %) во избежание повреждения зародыша через какое-то время также требуется охладить. Технология охлаждения ячменя предусматривает охлаждение зерна в вентилируемых хранилищах или в силосах (см. раздел. 1.2.4.4) до температур, соответствующих предусмотренному периоду хранения. Для этих целей подходят передвижные холодильные агрегаты, подключаемые с помощью соединительных элементов к вентиляционным установкам (при необходимости это позволяет проводить многократное охлаждение). При охлаждении зерна на 10 °С происходит снижение его влажности на 0,5 %. Продолжительность охлаждения 50-тонного

силоса составляет в среднем 24 ч, причем охладитель воздуха должен быть рассчитан на производительность 1170 кДж (280 ккал) / 1 т в час, а часовой расход воздуха должен составлять около 25 м³/1 т.

1.2.4.2. Напольное хранение. Традиционное напольное хранение ячменя встречается все реже, так как оно требует очень большой площади (1,0-3,5 м²/т). Этот метод хранения позволяет за счет подбора высоты слоя и времени ворошения адаптироваться к уровню влажности ячменя и погодным условиям. При отсутствии механизмов для пневматического перемещения обработка хранящихся куч ячменя является очень трудоемкой. Чем больше влажность ячменя, тем в более топком слое его необходимо хранить, постоянно следя за температурой бурта или грядок. Как и любой другой вид перемешивания, перелопачивание ячменя имеет целью охлаждение, проветривание и сушку зерна. Сушка и охлаждение осуществляются поступающим через открытые окна или жалюзи воздухом. Наружный воздух должен быть холодным и сухим (холоднее ячменя) — в этом случае при обдувании бурта холодный воздух нагревается и способен впитывать влагу и подсушивать зерно. Если же наружный воздух теплее ячменя, то от соприкосновения с более холодным ячменем он остывает и не оказывает подсушивающего действия. Точка росы может быть не достигнута, и зерно в этом случае отпотевает, в связи с чем целесообразно измерять влажность и температуру воздуха, используемого для подсушивания ячменя.

Устройство нескольких емкостей для зерна друг над другом позволяет компоновать их в виде ярусов поэтажного зернохранилища, в котором ячмень постепенно просыхает тонкой струей через

отверстия в полу по распределительным листам на нижние ярусы.

При напольном хранении ячменя более толстым слоем (около 3 м) надежное *напольное вентилирование* обеспечивается по методу Ранка (*Rank*) с помощью открытой системы основных и вспомогательных трубопроводов с направляющими листами и колосниковыми решетками, оборудованными или воздуходувкой для кратковременной интенсивной аэрации, или роторными установками для длительного слабого вентилирования.

Деревянные полы из-за их пожароопасности и низкой несущей способности вытеснены железобетонными полами.

Для уменьшения площади хранения существует возможность хранения ячменя в толстом слое (в закрытых силосах высотой 16-40 м). При большой высоте слоя отведение влаги и аэрация ячменя становится невозможной, и, таким образом, на хранение может закладываться лишь подготовленное к хранению зерно, влажность которого не превышает 12 %. При большой высоте силоса опасаться давления массы зерна на нижние слои не следует, так как начиная с высоты 10 м давление насыпной массы ячменя перераспределяется на стенки силоса.

Прежде силосы делали деревянными, и их преимуществами были плохая теплопроводность и проницаемость для продуктов обмена веществ, однако как и у деревянных полов, недостатками таких силосов являлись пожароопасность, сложность поддержания чистоты и низкая несущая способность.

1.2.4.3. Железобетонные силосы получили наиболее широкое распространение — они огнестойки, обеспечивают хорошее использование площадей, характеризуются большой вместимостью и требуют

небольших эксплуатационных затрат. Недостатком таких силосов является необходимость возведения мощных фундаментов и необходимость обеспечения затвердевания бетона с последующим тщательным просушиванием. Силосовый корпус состоит из отдельных железобетонных силосов прямоугольного сечения, а с увеличением высоты — шести- и восьмиугольного. Для обеспечения полной выгрузки зерна днище имеет коническую форму (с углом 39°). В сочетании с горизонтальным и вертикальным транспортным оборудованием это позволяет перемещать материал без дополнительных трудозатрат. Вместимость одной ячейки силоса рассчитывают примерно на 1 партию ячменя.

Вместимость силосов солодовни по ячменю и солоду должна обеспечивать 80-100 % годового производства.

В целях сокращения затрат на сооружение бетонных силосов изготавливают небольшие сборные силосы, причем плита основания, образующая фундамент и имеющая форму воронки, служит также для монтажа транспортеров. Силосы без подвального помещения даже для крупных установок обходятся значительно дешевле. Внешние и поперечные стенки устанавливаются на ленточный фундамент, днище корпусов помещают на гравийную подушку с уклоном 39° . В узком канале обслуживания устанавливают горизонтальный транспортер. Экономия средств на сооружение таких сборных силосов составляет 20-30 %. Существенные преимущества дает применение сборного железобетона.

1.2.4.4. Силосы из стальных листов отличаются повышенной прочностью при сравнительно небольшой толщине материала. Так, средняя толщина стен стальной ячейки

диаметром 5 и высотой 30 м составляет 5 мм, тогда как толщина железобетонной стенки при тех же характеристиках силоса — 15 см. К тому же вместимость железобетонного силоса при тех же наружных размерах на 12 % меньше, чем стального. Наиболее выгодное с экономической точки зрения отношение диаметра к высоте составляет 1:5 - 1:10. При возведении круглых силосов для лучшего использования объема между ними можно располагать дополнительные ячейки. Хорошая теплопроводность материала способствует образованию конденсата, поэтому допускается хранение только предварительно просушенного ячменя. В силосах данного типа ячмень необходимо периодически перемешивать. Проведение такой операции целесообразно на всех типах силосов (в том числе из сборного железобетона) во избежание образования очагов нагревания ячменя и возникновения затхлого запаха. При перемешивании ячменя одновременно происходит его вентиляция, особенно когда при транспортировке зерно снова подается на аспирационную установку.

Вентиляция силосов затруднена из-за расположенного выше столба зерна. В небольших силосах существует возможность нагнетать воздух снизу через зерно. Для силоса высотой 25 м требуется расход 80 м^3 воздуха/т в час при давлении 4,9 кПа или 500 мм вод. ст. Более крупные силосы вентилируют горизонтальным способом, осуществляя подачу воздуха по воздушным каналам, проложенным в стенках силоса с определенным интервалом. Вентилирование зерна разрешается производить только тогда, когда атмосферный воздух холоднее вентилируемого зерна. При хранении отводимый при загрузке силоса или в процессе

вентиляции воздух необходимо обеспыливать. На крупных силосах отводимый воздух направляют на обеспыливающие установки, а на небольших предприятиях его подводят к системе обеспыливания установок очистки и транспортеров.

У крупных силосов необходим тщательный контроль температуры на разной высоте; лучше всего для этого подходят зонды или щупы, показания которых выводят на центральный пункт управления силосом. Если в течение 48 ч в каком-либо слое температура повышается на 2 °С, то зерно следует перемешать, отбирая при этом пробы для определения влажности, способности к прорастанию и энергии прорастания.

На центральный пульт управления силосом выведены выключатели транспортеров и установок очистки, а также приборы световой сигнализации. Последовательное выполнение команд и система блокировки (при неправильной регулировке) предотвращают смешивание партий заложенных на хранение материалов (например, ячменя и солода).

1.2.5. Дополнительное подсушивание ячменя

Современная технология уборки ячменя комбайнами, доставка на солодовню в короткие сроки больших партий ячменя и невозможность ускоренного охлаждения и подсушивания ячменя в вентилируемых силосах привели к почти повсеместному внедрению дополнительного его подсушивания. При надлежащей обработке зерно не только способно к длительному хранению — в нем существенно увеличивается энергия прорастания. Такое подсушивание должно производиться как можно раньше.

Искусственное снижение влажности ячменя возможно только при определенных условиях — ячмень должен полностью созреть на стебле; необходимо провести предварительную очистку, так как семена сорняков и другие примеси более гигроскопичны по сравнению с ячменем и хуже поддаются сушке. Сушку затрудняют также оболочки зерна, препятствующие отведению водяного пара.

При условии, что надежное хранение ячменя можно обеспечить только при влажности 12 %, процесс сушки должен быть ориентирован на достижение этого значения влажности. Сушка до 10 %-ной влажности не только нерентабельна, но и сопряжена с риском нарушения способности зерна к прорастанию.

Дополнительное подсушивание зерна осуществляется путем нагревания или охлаждения. Из экономических соображений предпочтение отдают сушке нагреванием. Задача при этом состоит в том, чтобы путем нагревания повысить давление водяного пара в зерне таким образом, чтобы оно превышало давление воздуха для сушки. Чем больше эта разница, тем интенсивнее и глубже протекает удаление влаги, однако сильное нагревание ячменя связано с существенными ограничениями, поскольку ячмень очень чувствителен к температурам выше 50 °С. Температура подсушивания зерна должна быть тем ниже, чем выше содержание влаги в начале сушки. Если ячмень с влажностью 16 % можно нагревать до 49 °С, то при его влажности около 22 % допускается температура лишь 34 °С. Во избежание повреждения зерна очень влажный материал целесообразно подсушивать в два этапа: например, с 20 до 16 %, а затем с 16 до 12 %.

Проблема сушки теплым воздухом состоит в том, что осуществить равномерное

просушивание зерна отнюдь не просто. Внешние слои зерна легко становятся хрупкими и сжимаются еще до того, как влага проникнет наружу через капилляры. Поэтому при непрерывной сушке ячмень нагревают в отделении предварительного нагрева, благодаря чему вода, содержащаяся в клеточных тканях зерна, расширяется и проникает в капилляры, ведущие от центра через внешний слой. Оттуда влагу можно легко отвести в отдельном сушильном отделении с помощью теплого воздуха. Направление воздушного потока несколько раз меняют и подводят воздух сначала к более подсушенной стороне слоя зерен, а затем к менее подсушенной (со стороны отвода воздуха). При повышенной влажности зерна и при использовании более высоких температур это может привести к нарушению способности зерна к проращению.

1.2.5.1. Сушилки непрерывного действия состоят из нескольких отделений: отделения предварительного нагрева, двух зон сушки и одного отделения охлаждения наружным воздухом. Потребление тепла и электроэнергии таких сушилок (например, шахтной сушилки) можно принять при расходе воздуха $1500 \text{ м}^3 / 1 \text{ т}$ в час за $300\,000 \text{ кДж}$ ($70\,000 \text{ ккал}$) и $2,5 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)/т}$ соответственно. Продолжительность цикла сушки составляет 90 мин при использовании воздуха температурой $65\text{--}85 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.2.5.2. Для сушки ячменя также подходит *солодосушилка* (прежде всего, одно-решеточная высокопроизводительная сушилка с опрокидывающейся решеткой), поскольку при этом могут быть снижены трудозатраты. За 6 ч на 1 м^2 решетки можно высушить 400 кг ячменя, понизив его

влажность с 20 до 15% . Температура воздуха с оптимальной скоростью поднимается с 35 до $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Естественно, что при этом наблюдается разница в содержании влаги в нижнем слое ячменя (около 12%) и верхнем (около 17%), но ее можно выровнять при интенсивном перемешивании зерна при опорожнении сушилки и последующем транспортировании. Для сушки 1 т ячменя необходимо $255\,000 \text{ кДж}$ ($60\,000 \text{ ккал}$) тепловой и $7\text{--}8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии. При трехсменной работе с учетом продолжительности подачи, сушки и разгрузки можно провести 3 цикла сушки в сутки. Контрольным критерием хода сушки является разница температур подводимого и отводимого воздуха. Суточная производительность сушилки с поверхностью решетки 50 м^2 составляет 60 т при загрузке ячменя 20 т , что соответствует производительности сушилки непрерывного действия $2,5 \text{ т/ч}$.

Другими вариантами сушки является сушка в ящичных прицепах или в вентилируемом силосе. В обоих случаях для нагревания и сушки зерна подключают нагреватель с вентилятором, а охлаждение и вентилирование осуществляют наружным воздухом.

До сих пор было принято охлаждать ячмень после сушки наружным воздухом, а затем доставлять его к месту хранения. Хорошо зарекомендовала себя технология, при которой ячмень, подсушенный до влажности 12% , хранят в силосе при температуре $35 \text{ }^\circ\text{C}$ до прекращения состояния покоя, что происходит в течение $3\text{--}14 \text{ сут}$. Процесс контролируют каждые 3 сут с помощью форсированного теста с пробой 4 и 8 мл . Сразу же после прекращения состояния покоя зерно охлаждают путем перемешивания. Такая технология способствует также

уменьшению водочувствительности ячменя.

Можно также охлаждать поступающих из сушилки ячмень сухим воздухом до температуры 6-8 °С с последующем хранении зерна в силосе.

1.2.5.3. Сушка ячменя холодным воздухом по экономическим причинам не нашла широкого распространения. Она могла бы быть целесообразнее сушки с нагревом, так как при одинаковой степени поглощения влаги зерно можно дополнительно охладить. Холодное зерно хранится лучше, чем нагретое — процесс обмена веществ существенно замедляется, а размножение вредителей приостанавливается. Эти факторы используются при консервировании ячменя холодом. У свежееубранного или водочувствительного ячменя существует опасность не прекращения, а консервации периода покоя, что называют вторичным периодом покоя при прорастании.

1.2.6. Вредители ячменя

Вредители ячменя наносят большой вред хранящемуся зерну, увеличивая потерн сухих веществ и риск снижения качества в связи с повышением влажности ячменя. Вредители попадают в ячмень уже в поле или во время хранения. Так, спорынья в виде мицелия гриба *Claviceps purpurea* попадает в ячмень, а затем, несмотря на очистку, — в солод и дает при затирании вредные вещества. Значительно снижают ценность зерна как пищевого продукта *Aspergillus*, *Cephalosporium* и *Penicillium*. Ряд микроскопических грибов, попадающих в зерно еще в поле, — *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium avenaceum* — появляются на переувлажненном дождем

ячмене и продуцируют продукты обмена веществ, которые в готовом пиве могут вызывать явление избыточного ценообразования (гашинг-эффект). Мицелиальный гриб *Fusarium* попадает в ячмень при влажной погоде, проникает в эндосперм, образует там мицелий и расщепляет высокомолекулярные соединения. Токсины, отрицательно влияющие на всхожесть ячменя, продуцируются и рядом других микроскопических грибов, попадающих в зерно еще в поле, но продолжающих развиваться в период хранения. При солодоращении токсины могут исчезать. Токсин, выделяемый плесневым грибом *Fusarium*, может снижать α -амилазную активность и препятствовать развитию зародыша листка и корешка. Торможение роста зависит от концентрации токсина.

К значительно большим потерям приводят те вредители, которые появляются именно в хранящемся зерне, а именно долгоносики и мотыльки. Амбарный долгоносик откладывает яйца в ячменное зерно. При кладке яиц женская особь просверливает хоботком в зерне крошечное отверстие (обычно со стороны зародыша), откладывает яйцо в эндосперме зерна и заклеивает отверстие. Образующаяся личинка частично пожирает эндосперм, превращается после 4-кратной смены кожи в куколку и в конце — в долгоносика. Заражение распространяется до тех пор, пока не будет приостановлено резким изменением внешних условий или пока температура в кучах зерна не повысится до смертельного для насекомых уровня. Как правило, амбарный долгоносик переносится большей частью на кораблях, транспортных средствах с тарой (мешки и др.) и этими путями заносится на предприятия. Пораженное зерно подлежит безусловному возврату поставщику.

Долгоносика можно частично удалить или избавиться от него с помощью частого перемещения и очистки, а также путем вентиляции ячменя, однако использование химических средств борьбы намного эффективнее. Оно может осуществляться путем опрыскивания, окулирования или контактными инсектицидами. Условием их применения является возможность полного удаления, а также то, что они не должны изменять ни физиологический процесс прорастания, ни ферментативные реакции, ни вкус готового пива и не должны быть противопоказаны по своему действию на организм человека.

Для надежной защиты хранящегося зерна от поражения вредителями и для их уничтожения большие силосы необходимо оборудовать окуливающей установкой.

1.2.7. Изменение массы ячменя во время хранения

Изменения массы ячменя во время хранения обусловлено в основном потерей влаги и дыханием зерна. Уровень этих потерь зависит от влажности ячменя. Изменения особенно заметны в первые 3 мес. после сбора урожая и составляют в этот период около 1,3 %, во второй четверти года — 1,0 %, а во второй половине года — около 0,8 %. При более длительных сроках хранения пивоваренного ячменя снижение влажности зерна до 12 % является обязательным условием.

1.3. Замачивание ячменя

Проращивание ячменя происходит лишь при определенной влажности. Влажность ячменя при хранении не должна превышать 12 %, чтобы ограничить до минимума

жизненные проявления в ячмене во избежание потерь веществ и необратимых повреждений зерна. Прорастание начинается при добавлении воды. Жизненные проявления становятся заметными в зерне уже при 30 %-ном содержании влаги. Быстрее и равномернее ячмень прорастает при влажности около 38 % [483], а для достижения желаемой степени растворения эндосперма и связанного с ней накопления ферментов требуется влажность 43-48 %, а иногда и выше.

Большую часть вегетационной воды подводят в процессе замачивания, и оптимальная максимальная влажность зерна достигается на соответствующих стадиях проращивания. Требования к качеству и чистоте замочной воды долгое время были теми же, что и для нормальной питьевой воды — в ней не должно быть загрязнений физической, химической и биологической природы. Семенная оболочка (теста) полупроницаема — она позволяет диффундировать внутрь зерна воде. Этим можно объяснить, к примеру, ингибирующее действие на прорастание NO_2^- . Правда, обычно концентрация ионов, содержащихся в замочной воде, настолько мала, что их непосредственное действие выявить невозможно.

1.3.1. Поглощение воды зерном ячменя

Водопоглощение происходит в основном через капилляры, выходящие в основании зерна, вследствие чего в первые часы влажного замачивания зародыш, начиная от щитка, поглощает воду значительно быстрее, чем другие его части (за исключением цветочной оболочки).

В первые 4-8 ч замачивания поглощение воды велико, но по мере приближения к точке насыщения его интенсивность

быстро снижается и определяется способностью ячменя к набуханию. Водопоглощение зависит от следующих факторов.

- *Свойства ячменя.* Полным зернам требуется больше времени для достижения той же влажности, чем слабым, однако на эти различия оказывает влияние и способ замачивания. Например, если чисто или преимущественно преобладающее «мокрое» замачивание вызывает заметные расхождения в водопоглощении крупных и мелких зерен, то продолжительные воздушные паузы способствуют существенному выравниванию процесса водопоглощения, что делает возможным даже совместное замачивание ячменя I и II сортов. Исходная влажность ячменя не имеет особого значения, в отличие от структуры зерна, зависящей от условий года созревания зерна. Ячмень, выросший при жаркой и сухой погоде, характеризуется медленным водопоглощением, как и ячмень, не достигший солодовой зрелости (последний проявляет, как правило, четко выраженную водочувствительность). В ячмене, богатом белками, медленное водопоглощение обнаруживается лишь тогда, когда из-за условий роста и уборки урожая структура их зерна оказывается неблагоприятной для поглощения воды (в противном случае у партий ячменя урожая одного года различия не обнаруживаются). Кроме того, водопоглощение зависит от сорта ячменя.

- *Температура замочной воды.* Чем теплее вода для замачивания, тем быстрее происходит водопоглощение. В качестве нормальной температуры принята температура 10-12 °С; содержание в воде солей жесткости (или других ионов) особого значения для водопоглощения не имеет. Чтобы добиться влажности

43 % при разной температуре воды для ячменя одного сорта, необходима следующая продолжительность замачивания: 9 °С — 78 ч, 13 °С - 54 ч, 17 °С - 46 ч, 21 °С — 28 ч. Наиболее физиологически благоприятной температурой воды в случае применения преимущественно «мокрого» замачивания является температура 12-13 °С.

- *Способ замачивания.* Водопоглощение при чисто «мокром» замачивании происходит медленнее, чем при замачивании с воздушными паузами. Особо благоприятное действие оказывают длительные воздушные паузы между отдельными стадиями «мокрого» замачивания. Например, для получения указанной влажности зерна 43 % достаточно 12-часовой фазы «мокрого» замачивания при общей продолжительности замачивания 52 ч.

1.3.2. Снабжение зерна кислородом

С повышением влажности усиливается дыхание зерна и его потребность в кислороде, который должен в достаточном количестве доставляться к зерну на протяжении всего периода замачивания. На каждую молекулу потребляемого кислорода образуется одна молекула диоксида углерода. Коэффициент дыхания, то есть отношение CO_2 к O_2 , равен 1, но при недостатке кислорода образуется избыток CO_2 , и коэффициент дыхания становится больше 1. Впоследствии избыток CO_2 порождает спиртовое брожение, при котором может произойти отравление зародыша продуктами обмена веществ — спиртом и диоксидом углерода.

Целые ячменные зерна даже при нормальном доступе воздуха сначала претерпевают легкое спиртовое брожение до тех

пор, пока зерно не прорастет и будет прорвана цветочная оболочка. При этом зародыш вступает в контакт с наружным воздухом, и накопленный спирт исчезает в результате интрацеллюлярного окисления.

К неравномерному росту может уже привести содержание спирта 0,1 %. Высокая температура замачивания повышает образование спирта — как и отсутствие кислорода при замачивании и проращивании. При указанных условиях концентрация спирта может достигать даже нескольких процентов, что ведет к торможению роста. При правильно проводимом замачивании с применением соответствующих воздушных пауз образуется незначительное количество спирта — чем быстрее наступает начало прорастания зерна, тем оно меньше.

Образующийся диоксид углерода оказывает постоянное тормозящее действие на рост, препятствуя полному использованию кислорода, в связи с чем следует в максимальной степени удалять CO_2 (особенно во время воздушных пауз). Если эти факторы не учитывать, то продукты анаэробного обмена веществ вызывают тяжелые повреждения зародыша. При интрамолекулярном дыхании замачиваемый материал приобретает эфирный, кислотный, а в некоторых случаях даже гнилостный запах. Зерно теряет прочность и приобретает способность к избыточному водопоглощению, причем теряется его прорастаемость.

Потребность ячменя в кислороде особенно велика, когда зерно в конце периода покоя перед прорастанием имеет еще высокую водочувствительность (так ведет себя ячмень, хранившийся в плохих условиях). При замачивании необходимо тщательно следить за водочувствительностью ячменя (особенно при

использовании крупных аппаратов для замачивания и пневматических солодо-растительных установок) и подводить достаточное количество кислорода в периоды воздушных пауз, а также экономно дозировать воду с учетом физиологических особенностей ячменя.

1.3.3. Очистка ячменя

При замачивании происходит очистка ячменя: загрязнения отделяются и при заполнении водой аппарата для замачивания всплывают и уносятся. Ионы, растворенные в воде, обволакиваются веществами цветочной оболочки и усиливают или ослабляют эффект смыва. На моющее действие воды благоприятно влияют ионы бикарбоната натрия. Разнообразное применение находят химические добавки, действие которых в последнее время зачастую переоценивают. Общепринятое прежде добавление щелочей или перекиси водорода в настоящее время в соответствии с положениями пищевого законодательства ФРГ не допускается.

Биологическое загрязнение воды при значительном количестве микроорганизмов, попадающих в нее с ячменя, первостепенной роли не играет.

1.3.4. Потребление воды

Для получения влажности проращиваемого зерна 47-48 % требуется всего $0,7 \text{ м}^3$ воды на 1 т зерна. В зависимости от применяемого способа замачивания и установки для замачивания на практике потребление воды намного больше. При размягчении замачиванием потребность в воде составляет $1,8 \text{ м}^3/\text{т}$ ячменя, для простой смены воды требуется $1,2 \text{ м}^3$, для перекачивания из одного замочного чана

в другой необходимо от 1,5 до 1,8 м³, для «мокрой» выгрузки замоченного зерна — 1,8-2,4 м³. При практиковавшемся ранее воздушно-водном замачивании с 7-кратным добавлением воды, двукратным перекачиванием и «мокрой» выгрузкой замоченного зерна требовалось около 11 м³/т воды, тогда как при современных методах замачивания с трехкратным подведением воды необходимо немногим более 5 м³/т. Путем правильного подбора уровня перелива замочной воды в соответствии с объемом ячменя и отказа от перекачивания при возможности интенсивного перемешивания зерна сжатым воздухом можно дополнительно сэкономить 0,8-1,5 м³/т. Повторное использование второй замочной воды (например, для «мокрой» выгрузки замоченного зерна) позволяет еще более снизить расход воды. Эти меры, хотя и требуют дополнительного резерва воды, могут оказаться целесообразными при высокой стоимости воды или больших затратах на утилизацию сточных вод. Сокращение числа «мокрых» замачиваний соответственно требует усиленного увлажнения зерна при проращивании. Дальнейшее снижение расхода воды возможно при использовании водных шнеков, которые несмотря на применение теплой воды (температурой до 30 °С) позволяют добиться влажности зерна лишь около 25 %. Расход воды в данном случае (в зависимости от интенсивности процесса промывки) составляет 1,2-2,0 м³/т. Если же вода расходуется исключительно на орошение в солодорастильном аппарате, то расход воды (0,9 м³/т) лишь незначительно превышает теоретическую величину. Тем не менее при подобной технологии требуется предварительная интенсивная очистка ячменя.

1.3.5. Аппараты для замачивания

1.3.5.1. Замочные аппараты изготавливают из листов нержавеющей стали или железобетона. Нержавеющая сталь упрощает очистку и мойку оборудования и уход за ним, так что в последнее время замочные аппараты из бетона также облицовываются листами из нержавеющей стали. Для равномерной обработки замачиваемого материала желательнее применять аппараты круглого или квадратного поперечного сечения. Нижнюю часть делают конической формы, что облегчает опорожнение аппарата.

1.3.5.2. Вместимость замочных аппаратов рассчитывают с учетом объема замачиваемого количества ячменя, увеличения объема материала в ходе замачивания и дополнительного объема для перемещения ячменя. С учетом этих требований для замачивания 1 т ячменя требуется 2,2-2,4 м³. Общая вместимость всех замочных аппаратов должна рассчитываться на максимальную продолжительность замачивания, включая время заполнения, слива, выгрузки и очистки. Если взять за основу современные методы замачивания, то среднее время загрузки аппарата составляет 52-54 ч, что требует установки соответственно трех замочных аппаратов. Зачастую продолжительность замачивания рассчитывают из 24-28 ч, а фазу проращивания переносят в солодорастильный аппарат. В этом случае требуется лишь два замочных аппарата. Дальнейшее ограничение времени замачивания может при известных условиях излишне сократить воздушные паузы. Количество замочных аппаратов зависит также от производительности солодорастильной установки. Для

равномерной обработки замачиваемого материала рассчитывают отдельный аппарат для замачивания обычной конструкции (с конусом) максимум на 50 т замачиваемого ячменя. Следует избегать слишком глубокого замачивания, так как при прочих равных условиях оно значительно осложняет аэрацию и позднее прорастивание идет неравномерно. Аппараты для замачивания большей емкости делают прямоугольными с несколькими конусными выпусками.

1.3.5.3. Устанавливают замочные аппараты между емкостями с зерном и солодо-растительными ящиками. При «мокром» замачивании расположение аппаратов не имеет особого значения, однако следует избегать перемещения замачиваемого материала на слишком большие расстояния и на большую высоту, так как при транспортировании проросший материал может быть поврежден.

1.3.5.4. Замочное отделение. Если замочные аппараты открытые, помещение замочного отделения не должно зависеть от внешних температур: зимой его подогревают до температуры 15 °С, а летом охлаждают примерно до 12 °С. Кроме того, необходимо позаботиться о кондиционировании воздуха в отделении до влажности 85-90 %, так как она может изменяться под действием вытяжного эффекта вентиляторов для СО₂.

Для предотвращения кондиционирования всего замочного отделения влажным воздухом целесообразно закрыть отдельные чаны крышками и смонтировать в них систему кондиционирования.

Конструкция аппаратов для замачивания в последние годы совершенствуется и значительно усложняется. К имевшимся ранее магистралям для подвода

и отвода воды, отверстиям для выгрузки и слива всплывшего ячменя добавляют устройства для перекачки замоченного зерна, вентиляции под давлением, удаления диоксида углерода и орошения.

1.3.5.5. Система впуска и выпуска воды должна обеспечивать быструю смену воды так, чтобы можно было точно выдержать продолжительность «мокрого» замачивания. Длительность заполнения и разгрузки отдельного аппарата для замачивания не должна превышать 1 ч.

Орошение материала с помощью распылительных форсунок в меньшей степени предназначено для подвода воды — его цель — увлажнение воздуха, поглощаемого поверхностью зерна. Этот способ позволяет в определенных условиях предупредить повышение температуры. Распылительные форсунки должны быть установлены по всей площади замочного аппарата.

1.3.5.6. Перемещение материала из одного аппарата в другой производится при помощи насосов для замачиваемого материала, конструкция которых должна предотвращать повреждение замачиваемого зерна (прежде всего ростков на стадии прорастания). Установка перфорированных отделителей позволяет удалять загрязненную воду. Перекачка способствует хорошей очистке зерна, но не обеспечивает удовлетворительного перемешивания, так как находящееся в конусе зерно снова попадает вниз.

1.3.5.7. Подача сжатого воздуха в небольшие замочные аппараты производится с помощью простого переносного нагнетателя, а в крупные — с помощью вертикальных труб, через которые замачиваемое зерно подается в нижнюю

часть эрлифтной трубы и с помощью сжатого воздуха равномерно распределяется сверху. Нередко распределение ячменя происходит при помощи центробежных труб, в которых обеспечивается перемешивание материала. Хорошей аэрации содержимого способствуют также кольцевые барботерные трубки с мелкими отверстиями, располагаемые над затвором аппарата на определенном расстоянии. В час на ворошение 1 т материала требуется около 15-25 м³ всасываемого воздуха, давление которого в зависимости от высоты аппарата может составить 0,2-0,5 МПа. Из-за этого происходит повышение температуры материала, которое следует учитывать при проведении 10-15-минутной аэрации. Если ворошение при влажной аэрации достаточно интенсивно, от упомянутой перекачки можно отказаться, поскольку каждый аппарат для замачивания, а соответственно, и каждая их группа одинаково пригодны для замачивания и спуска замоченного материала. Благодаря этому можно получить значительную экономию воды (при каждой перекачке определенное количество воды неизбежно уходит в стоки).

1.3.5.8. Удаление диоксида углерода из аппарата для замачивания осуществляется вакуумными насосами. Если необходимо удалить только диоксид углерода, то при производительности насоса 15 м³/т в час достаточно каждый час осуществлять откачку в течение 10-15 мин. Если при длительном (12-20 ч) воздушном замачивании необходимо не только удалить СО₂, но и вентилировать и охлаждать материал, то на 1-е сутки замачивания производительность насоса должна составлять 50, а в следующие дни — 100-120 м³/т в час. При дополнительном

подключении к существующим установкам для замачивания более мощных насосов может случиться, что из-за закупорки слежавшимся ячменем малая свободная поверхность сит затвора замочного аппарата не обеспечит подачи нужного количества воздуха. Во избежание этого в нижней трети конуса следует размещать блок сит, который вместе с обычной трассой вентиляции через сита днища обеспечит равномерное удаление воздуха.

*1.3.5.9. В новых замочных аппаратах с плоским днищем круглой формы пространство под ситчатым днищем делают коническим. Высота материала даже в 250-тонных аппаратах составляет около 3 м. При этом днище должно способствовать равномерному перемещению воздуха с СО₂ во время воздушных пауз и позволять проводить тщательную очистку. Внизу под решеткой около центральной опоры разгрузочного устройства размещают конический разгрузочный резервуар (с углом наклона стенок 60°) для выгрузки влажного и сухого продукта. Чаще всего предусматривают четырехконусное пространство, из которого с помощью лопастей одинаковой ширины, вращающихся с регулируемой скоростью, выгружают зерно в солодорастильный аппарат. Нагнетательная вентиляция во время «мокрого» замачивания проводится через жестко смонтированные форсунки или через вращающуюся трубку с отверстиями. Такое устройство может использоваться также для очистки решетки снизу. Аппараты прямоугольной формы с перемешиваемыми вверх-вниз решетками (системы *Lausmann*, см. раздел 1.5.3.5) позволяют экономить воду при «мокром» замачивании путем опускания решетки. Ворошитель выравнивает верхний слой продукта или транспортирует его в устройство для*

выгрузки, из которого влажный или сухой продукт выгружается в солодорастильный аппарат.

Замочные аппараты с плоским днищем применяются также для повторного замачивания, для чего используют специальные емкости для замачивания зерна перед проращиванием с опрокидывающейся решеткой.

Относительно новой конструкцией для замачивания ячменя является замочный аппарат барабанного типа, загружаемый с помощью шнека. Загрузка партии массой 180 т длится около 5 ч. Благодаря вращению барабана ячмень попеременно контактирует с водой и воздухом. Вода течет противотоком, то есть на ячмень с влажностью 30 % подается свежая замочная вода, а ячмень на входе в аппарат впервые контактирует с водой незадолго до точки слива загрязненной воды.

Очевидно, что подобные дорогостоящие замочные аппараты применяются в основном для увеличения мощности имеющихся солодорастильных аппаратов. В данном случае часть процесса проращивания переносится в замочный аппарат, соответствующим образом дооборудованный. Для описанных ниже способов замачивания продолжительностью 24-26 ч в большинстве случаев достаточно вентилируемых замочных аппаратов с коническим днищем и указанными выше узлами. Тем не менее применяются также сочетания барабанных замочных аппаратов с аппаратами с плоским днищем.

1.3.6. Способы замачивания

1.3.6.1. Традиционное замачивание. Замачивание зерна удобнее производить при подаче зерна из расположенной выше емкости, куда тщательно очищенное и отсортированное зерно поступает

от автоматических весов. Ячмень сыпается через распределитель в аппарат для замачивания, заполненный водой до определенного уровня. Тяжелый ячмень медленно погружается на дно, легкий всплывает вместе с прочими легкими примесями на поверхность воды. Образовавшийся слав собирается в переливной емкости и затем высушивается. Количество его в зависимости от чистоты замачиваемого ячменя может составить 0,1-1 %. Сильная вентиляция способствует интенсивному движению зерен, очистке замачиваемого материала, подъему сплава и прочих загрязнений. Первая замочная вода — это вода для промывки, которая в зависимости от степени загрязнения сменяется уже через несколько часов. Последующая замена воды осуществляется через 12-24 ч в зависимости от степени загрязнения ячменя, температуры воды и продолжительности замачивания. Оставление материала без воды между ее сменами осуществлялось по-разному. Это мероприятие должно было обеспечить лучшую аэрацию ячменя, так как при исключительно «мокром» замачивании даже при длительной подаче свежей воды растворенный в воде кислород поглощается в кратчайший срок. В процессе совершенствования метода воздушные паузы стали занимать 50 и даже 80 % общей продолжительности замачивания. Наличие адгезионной воды снаружи зерна не только способствует во время воздушного замачивания равномерному повышению степени замачивания, но и ведет к сокращению его общей продолжительности и ускорению проращивания. При традиционных способах замачивания аэрация осуществляется в течение 10-15 мин каждые 1-2 ч. В зависимости от стадии замачивания образуется 3-5 % об. CO_2 , который вымывается

при распылении воды в ходе воздушной паузы с одновременной вытяжкой. Промывная вода помогает поддерживать температуру продукта в желаемом диапазоне.

Продолжительность замачивания до содержания влаги в ячмене 43-45 % составляет 60-70 ч. Желательно применять 3 аппарата замачивания и более.

1.3.6.2. Современные способы замачивания. Эмпирические методы замачивания с течением времени заменялись способами, при которых стремились к получению заданной степени замачивания за более короткие промежутки времени. При увеличении длительности воздушных пауз это приводило к совершенно определенному физиологическому поведению зерна. При влажности 30-32 % и воздушном замачивании продолжительностью 14-20 ч водочувствительность ячменя уменьшается (см. раздел 3.4.1.2). При влажности 38% в период воздушной паузы в течение 14-24 ч ожидается равномерное прорастание материала.

Продолжительность воздушной паузы зависит от физиологического состояния зерна: ячмень, выращенный в теплых и сухих условиях, может стремительно и интенсивно развиваться — он характеризуется низкой водочувствительностью, и для него требуется сокращенная по возможности воздушная пауза продолжительностью 14 ч. Напротив, ячмень, выращенный во влажных и холодных погодных условиях, характеризуется более медленным ростом зародыша и выраженной водочувствительностью, и для него требуется более продолжительная воздушная пауза — 20-24 ч. К повторному «водному» замачиванию стремятся достичь уровня содержания влаги 38 %. В таком случае в течение 14-24-часовой воздушной паузы ожидают равномерного

прорастания. Было бы совершенно неверным добавлять воду (даже только путем орошения) перед одновременным прорастанием ячменя при содержании 95 % жизнеспособных зерен, так как это всегда приводит к неравномерному прорастанию. После этого момента путем повторного мокрого замачивания достигается влажность 41,5-43,0 %, которая затем увеличивается путем орошения в солодорастильной установке до окончательной влажности 44-48 %.

Чтобы обеспечить равномерную обработку материала, во время «мокрого» замачивания необходимо осуществлять ворошение сжатым воздухом. При применении одной центрально расположенной форсунки с трубой для подачи продукта (*Geisir*) обеспечивается интенсивный контакт между ячменем, водой и воздухом. Снабжение зерна кислородом лучше, чем при орошении, так как охватывается общая масса замачиваемого продукта. Это мероприятие может осуществляться непрерывно во время нахождения зерна под водой и может регулироваться в течение всего «мокрого» замачивания.

При воздушной паузе необходимо сильное вакуумирование, которое предотвращает не только скопление CO_2 , но и подъем температуры грядки выше 18-20 °C в фазе проращивания. Большое значение для равномерной обработки замачиваемого продукта имеют свойства охлаждающего воздуха (температура и влажность).

Для небольших замочных аппаратов целесообразно проводить короткое (в течение нескольких секунд) орошение верхнего слоя проращиваемого материала.

Контроль температур в замочном отделении и замачиваемом материале имеет точно такое же значение, как и определение влажности на отдельных стадиях.

Он может осуществляться всеми известными методами, включая ускоренные.

Рассматриваемый способ замачивания осуществляется следующим образом.

1. Длительность первого периода нахождение зерна под водой при температуре воды 12 °С до 30 %-ной влажности составляет 4-6 ч. Каждые 1-2 ч материал необходимо ворошить по 5-10 мин сжатым воздухом, а всплывший ячмень удалять. Первая воздушная пауза в зависимости от водочувствительности ячменя может продолжаться 14-20 ч. Домачивание с использованием адгезионной воды производят до достижения влажности 31-32 %, а температуру повышают до 18-20 °С. Воздух (СО₂ и тепло) отсасывают сначала каждые 1-2 ч по 10-15 мин, при этом дыхательная активность ячменя усиливается. При использовании вентилятора с часовой производительностью 50 м³/т отсасывание может продолжаться дольше.

2. Длительность второго периода нахождение зерна под водой при температуре воды 18 °С до влажности 37-38 % составляет 1-2 ч. За это время проводят 1-2 продувки сжатым воздухом по 10-20 мин и сразу перекачивают материал в другую емкость. Вторая воздушная пауза длится 20-28 ч, то есть до тех пор, пока материал равномерно не прорастет. Домачивание адгезионной водой осуществляют до достижения влажности 39-40 %, температуру повышают до 18 °С. Отсасывание СО₂ и тепла производят сначала каждые 2 ч по 10-15 мин, а затем, при использовании вентилятора с часовой производительностью 100-150 м³/т, — через каждые 4-5 ч.

3. Третий залив зерна водой проводят при температуре воды до 18 °С до влажности 41-42 % в течение 1-3 ч. Ворошение и разрыхление материала осуществляют сжатым воздухом в течение 10-30 мин. Затем зерно спускают.

Повышение температуры воды от одного залива водой к другому позволяет привести в соответствие температуры, уже установившиеся в замоченном зерне. При теплом спуске замоченного материала (при температуре -18°С) можно с успехом применять способ проращивания с падающими температурами (см. раздел 1.5.3.3). Здесь важно, чтобы для спуска замоченного материала из замочного аппарата имелось достаточное количество воды температурой 18 °С.

Преимущество ускоренных способов замачивания с применением только двух «мокрых» замачиваний заключается в том, что благодаря второму «мокрому» замачиванию в процессе выпуска замоченного материала из аппарата для замачивания можно контролировать влажность прорастания (около 38 %); вода требуется только два раза, так что объем потребления замочной воды снижается до 3-3,5 м³/т зерна. Если аппарат для замачивания представляет собой аппарат с коническим днищем, то в теплое время года в период второй воздушной паузы, то есть в фазе проращивания, зачастую трудно поддерживать желаемую температуру. Тогда в контролируемых условиях солодорастильного аппарата при условии наличия достаточного времени для проращивания (1 сут на замачивание и 6 сут на проращивание) этот важный период пройдет благоприятнее.

Двухдневный способ замачивания, при котором, как правило, второй день проводят в замочном аппарате с плоским днищем, дает возможность для достижения влажности замачиваемого продукта 41 % провести третий залив водой. При оптимальной подаче воздуха ячмень испытывает «водяной шок», ликвидация последствий которого до высыхания поверхности ячменя может составлять 12 ч.

В результате блокирования подачи кислорода пленкой воды замедляется дальнейшее прорастание наряду с образованием важных ферментов. Из-за блокирования поступления кислорода через слой воды дальнейшее проращивание ограничивается. В этом случае лучше всего обеспечить воздушную паузу в течение 3-4 ч между третьим заливом водой (с последующей перекачкой продукта в солодорастильный аппарат.

Для достижения равномерного увлажнения крахмальных зерен ячменя с твердой структурой эндосперма благоприятнее третий залив водой. Высокое содержание влаги после третьего водяного замачивания делает необходимым проведение двух процессов орошения, благодаря чему можно снизить образование «гусаров».

«Мокрое» замачивание лучше воздействует на начало солодоращения и дальнейшее его проведение (после третьего налива воды при влажности 41 %). Это обусловлено отчасти более продолжительным контактом зерна с замочной и транспортной водой, а также создаваемым насосом давлением. Величина давления сильнее воздействует на дыхание ячменя, чем продолжительность его приложения, и для сохранения примерно одинаковых значений растворимости солода необходимы 1 сут проращивания.

1.3.6.3. Другие способы замачивания. На аналогичных принципах основан способ *перезамачивания*, при котором нагрев материала во время длительных воздушных пауз компенсируется многократными короткими стадиями «мокрого» замачивания. Способ *повторного замачивания*, применяющийся с 1960-х гг., предусматривает, что после обычного 24-28-часового замачивания при влажности около

38 % после проращивания в течение 30-36 ч равномерно проросшее зерно подвергается новому замачиванию. Продолжительность последнего зависит от температуры замочной воды, которая может варьировать в пределах 12-18 °С. Оптимальным считается повторное замачивание в течение 10-18 ч, при этом влажность с 38 % повышается до 50-52 %.

Оба способа имеют большое значение в современной технологии замачивания, но вследствие высокого водопотребления и повышенных энергозатрат для сушки очень влажного свежепроросшего солода они не получили широкого распространения.

Замачивание с орошением осуществляется в солодорастильном аппарате. При этом возможно применение двух способов: подача ячменя в солодорастильный ящик с помощью моечного шнека, заканчивающаяся постепенным повышением влажности орошением, и доведение влажности подаваемого в солодорастильный ящик сухого ячменя до требуемого значения периодическим орошением. Замачиваемый материал смачивается водой, подающейся через форсунки на ворошитель.

1.3.6.4. Оценка результатов замачивания на распространенных в настоящее время крупных установках для замачивания и проращивания происходит уже не эмпирически, а все больше путем точного определения влажности и температуры на отдельных фазах процесса. В зависимости от свойств ячменя водопоглощение происходит с разной скоростью. При двухсуточном замачивании перед повышением влажности до значений свыше 38 % необходимо контролировать равномерность наклёвывания зёрен. Дальнейшее наблюдение за развитием зародыша,

например, за равномерностью разветвления, позволяет сделать выводы о целесообразности замачивания.

1.3.6.5. Потери при замачивании возникают вследствие:

- образования пыли и наличия загрязнений (около 0,1 %);
- выщелачивания цветочной оболочки (около 0,8 %);
- дыхания ячменя в процессе замачивания (0,5-1,5%), которое более интенсивно при замачивании с длительными воздушными паузами, чем при преимущественно «мокром» замачивании.

Сплав (0,1-1,0 %) к потерям не относят; его снимают, собирают и высушивают, после чего реализуют.

1.3.6.6. Содержание аппаратов для замачивания и уход за ними. Загрязнение аппаратов для замачивания микроорганизмами и взвесями, приносимыми ячменем, требует тщательной очистки оборудования (особенно при повторном применении замочной воды). Наличие большого количества выступающих деталей (колеса аэрации, труб и т. д.) значительно усложняет уход. Значительно облегчает содержание замочного оборудования применение современных устройств для разбрызгивания воды под давлением. Необходимо контролировать состояние внутренней облицовки аппаратов. При использовании стальных замочных аппаратов с коническим днищем обслуживание осуществляется проще и производство становится более надежным. Высота пространства под решеткой замочных аппаратов с плоским днищем круглой формы должна составлять 300-750 мм. Кроме того, в них предусмотрены внутренние устройства, например, форсунки сжатого воздуха, в связи с чем становится

сложнее проводить их очистку. Сверху решетку очищают с помощью автоматической очистки под давлением 100 бар. Очистку под решеткой проводят форсунками или с помощью вибророликов с форсунками. У прямоугольных аппаратов для замачивания с подъемными и опускающимися решетками очистку производить проще и дешевле с помощью обычной промывки под высоким давлением.

1.4. Проращивание

1.4.1. Теория проращивания

При проращивании зерновых органы зародыша развиваются, и в результате деления и увеличения количества клеток появляется новое растение. Прорастание проходит только в определенных условиях: достаточной влажности, благоприятной температуре и доступе воздуха. Для начала прорастания необходима сравнительно низкая *влажность зерна* (около 35-40 %), обеспечиваемая по-разному. Для достижения желаемого обмена веществ за отведенное время проращивания необходима влажность 42-48 % и даже 50 %, устанавливающаяся лишь после начала прорастания. Поддержание этой влажности в течение всего времени проращивания имеет большое значение для развития процессов жизнедеятельности (табл. 1.1).

На физиологические процессы при прорастании зерна аналогичное влияние оказывает *температура*. Благоприятная для роста температура — это 14-18 °С; при более низких процесс прорастания замедляется, а при слишком высоких — ускоряется и развивается неравномерно.

Потребность в кислороде обусловлена тем, что необходимая для роста зародыша энергия вырабатывается в результате

дыхания, то есть в процессе респираторного окисления. Дыхание представляет собой ряд последовательно протекающих реакций, при которых определенные продукты обмена веществ «сгорают» до диоксида углерода и воды с выделением определенного количества тепла. Недостаток кислорода ведет к развитию анаэробного обмена веществ, продукты которого *могут* существенно влиять на качество готового солода.

Путем правильного регулирования влажности, температуры, поступления кислорода и длительности проращивания можно в определенных пределах управлять биологическими процессами в ходе проращивания.

Изменения в зародыше обнаруживают сначала в корешке, а затем в листовых органах. Сначала появляется зародышевый корешок, проникающий через плодную, семенную и окружающие цветочные оболочки в том месте, где зерно было прикреплено к колосу. Зародышевый корешок появляется между двумя цветочными пленками, после чего его клетки разрываются и появляется несколько новых корешков, в свою очередь покрывающихся

тонкими капиллярными корешками с нежной тканью и тонкой верхней кожей, которые могут поглощать из почвы растворимые питательные соли. В кучах ячменя они видны только на самых верхних зернах. Внешние острия корешков покрыты корневыми чехликами, за которыми находится зона новообразования.

Зародыш листа сначала прорывает плодную и семенную оболочки, после чего продвигается между ними и спинной цветочной оболочкой. При искусственном проращивании зародыш должен развиваться только до определенной величины — если он прорастает из верхушки зерна, образуются проростки, снижающие качество готового солода.

Наряду с этими явлениями роста происходят следующие превращения в эндосперме: под действием определенных групп ферментов расщепляются резервные вещества и переводятся в растворимую форму с образованием в зародыше новых тканей. Внешне эти процессы проявляются в повышенной растираемости эндосперма. Пекле подведения вегетационной воды происходит выделение стимуляторов

Таблица 1.1. Параметры проращивания при разных температурах

Влажность	40	43	46	
Разность экстрактов солода тонкого и грубого помола (ЕВС), %	5,1	2,9	1,1	
Вязкость, мПа · с	1,69	1,60	1,52	
Температура проращивания, °С	13	15	17	
Разность экстрактов солода тонкого и грубого помола (ЕВС), %	1,6	1,4	1,0	
Вязкость, мПа · с	1,55	1,52	1,55	
Продолжительность проращивания, сут	4	5	6	7
Разность экстрактов солода тонкого и грубого помола (ЕВС), %	3,6	2,0	1,5	1,2
Вязкость, мПа · с	1,65	1,59	1,54	1,48
Содержание СО ₂ через 3 сут проращивания, %	0	10	20	
Разность экстрактов солода тонкого и грубого помола (ЕВС), %	0,7	1,2	1,7	
Вязкость, мПа · с	1,47	1,48	1,51	

роста (гибберелловой кислоты A_3 и гиббереллина A_4), которые попадают от корневой системы к растущей оси зародыша и затем через систему сосудов — к выходам алейронового слоя. Содержание этих регуляторов роста после выпуска из замочного аппарата еще не обнаруживается, через 24 ч достигает 46 мкг/кг СВ ячменя, через 48 ч - 50 мкг/кг, а спустя 72 ч снижается, доходя до 34 мкг/кг СВ ячменя. В высушенном (готовом) солоде без добавления гибберелловой кислоты (в Германии ее использовать запрещено) обнаруживается лишь 2-5 мкг/кг СВ.

В алейроновом слое и в щитке гиббереллины способствуют образованию ряда гидролитических ферментов — α -амилаз, предельных декстриназ и эндопептидаз. Гиббереллины способствуют развитию эндо- β -глюканазы, эндоксилазы и фосфатазы. Наряду с этим благодаря разрушению протоплазматической связи и высвобождению активирующих (например, сульфгидрильных) групп происходит активизация сульфгидрильных эндопептидаз, а также экзоферментов — например, β -амилазы, различных экзопептидаз, экзо- α -глюканаз и др. Образовавшиеся в результате расщепления низкомолекулярные вещества поглощаются щитком и подводятся к зародышу, где происходит формирование новых тканей. Со стороны спинки эндосперм растворяется интенсивнее, чем с обратной стороны зерна, приблизительно параллельно слою всасывающего эпителия. Важнейшими группами гидролитических ферментов являются гемицеллюлазы, протеолитические ферменты и амилазы, с помощью которых протекают реакции расщепления других групп веществ.

1.4.1.1. Действие ферментов. К гемицеллюлазам в соответствии со строением

гемицеллюлозы относят целый ряд ферментов, которые можно сгруппировать следующим образом.

β -Глюканазы — эндо- β -1,4-глюканазы, эндо- β -1,3-глюканазы, неспецифическая эндо- β -глюканаза, экзо- β -глюканазы, β -олигосахаразы;

β -глюкан-солюбилаза;

Пентозаны — эндоксилазы, экзоксилазы, ксилоолигосахаразы, арабинозидазы.

В то время как экзоферменты обладают определенной активностью еще в зерне, находящемся в состоянии покоя, стимулирующее действие на эндоферменты (эндо- β -глюканазу, эндоксилазу) вначале прорастания оказывают ростовые вещества щитка и алейронового слоя. При наличии достаточного количества кислорода суммарное содержание эндо- α -глюканазы существенно различается. С их помощью растворимый высокомолекулярный β -глюкан из гумми-веществ преобразуется в декстрины глюкана со средней молекулярной массой. Экзо- β -глюканазы увеличивают свою активность примерно в 10 раз и расщепляют

β -1,4-связи цепочек глюкана с нередуцирующего конца. В ходе этих процессов образуется дисахарид целлобиоза, которая, как и ламинарибоза, образующаяся из β -1,3-связи, преобразуется в глюкозу под действием соответствующих олигосахараз. Высокомолекулярный β -глюкан гемицеллюлоз, который соединен по эфирной связи с белком и может иметь молекулярную массу $40 \cdot 10^6$ Д, высвобождается из β -глюкан-солюбилазы и переходит в растворимую форму. Фермент карбокси-пептидаза присутствует в зерне, находящемся в состоянии покоя, но в процессе

прорастания его активность возрастает в 2-3 раза. Благодаря своему расщепляющему действию β -глюкан становится доступен для воздействия β -глюканазы.

Высокомолекулярные арабосиланы расщепляются эндоксилазами, арабинозидазы растворяют боковые цепочки арабинозы и, таким образом, открывают поле действия для экзоксилазазы. Образующиеся конечные продукты — арабиноза и ксилоза, как и глюкоза, участвуют в формировании новых клеток или утилизируются в процессе обмена веществ.

Действие глюканаз проявляется значительно сильнее действия пентозаназ, вследствие чего цитолитическое расщепление в ходе прорастания на $\frac{4}{5}$ включает глюкан и на $\frac{1}{5}$ — иентозан. Стенки клеток растворяются не полностью, из них удаляются лишь отдельные группы и тем самым увеличивается их проницаемость. Процесс этого растворения медленно развивается параллельно всасывающему эпителию от зародыша к вершине зерна.

Степень растворения солода определяют следующими методами: в процессе проращивания — эмпирическим способом (путем растирания эндосперма); в готовом солоде — аналитически (проводя анализ среза на рыхлость, осуществляемого преимущественно по длине зерна), фриабилметром, выявляя мучнистые, полустекловидные и стекловидные зерна; методом окрашивания отшлифованного продольного разреза зерна. Калькофлер окрашивает растворенные части в синий цвет, а нерастворенные части не окрашиваются, что дает представление о его растворимости и однородности. В лабораторных анализах определяют разность экстракта солода тонкого и грубого помолов, а также вязкость конгрессного сусла. На растворение в процессе прорастания

могут оказывать положительное действие высокая влажность проращиваемого материала, температура проращивания (примерно до 18 °С), достаточное количество кислорода и, соответственно, продолжительность проращивания. При более высоких температурах проращивания в определенных условиях проявляется более сильная разница между растворением края зародыша и верхней частью зерна. Это проявляется в несколько повышенной вязкости у пробы, отобранной при температуре 17 °С. Повышенная влажность способна уравнивать другие факторы (например, высокую температуру или более длительный период проращивания), однако при этом необходимо учитывать степень растворения белка. Ячмень с поврежденным зародышем (например, с непроростками) и неравномерность прорастания являются причиной недостаточной рыхлости и однородности растворения. При последующем затирании солода под действием β -глюкансольбилазы такой ячмень дает много высокомолекулярного β -глюкана, который невозможно впоследствии достаточно глубоко расщепить эндо- β -глюканазами, чувствительными к температуре. В результате в процессе мойки и фильтрования возникают нарушения (см. раздел 7.7).

1.4.1.2. Расщепление белка происходит с помощью ряда протеолитических ферментов, которые грубо подразделяют на:

- *эндопептидазы* («нротейназы»), воздействующие на нативный белок и продуцирующие высокомолекулярные продукты распада (например, макро- и полипептиды) и впоследствии олиго- и дипептиды; при длительном воздействии эндопептидаз расщепление идет вплоть до аминокислот; существует большое количество эндопептидаз, расщепляющих

пептидную цепочку только в конкретных точках, определяемых типом аминокислотного остатка;

- *экзопептидазы*, атакующие пептидную цепочку снаружи и расщепляющие отдельные аминокислоты; карбоксипептидазы расщепляют аминокислотные остатки с карбоксильной группой, а аминопептидазы — с аминогруппами; дипептидазы неспецифичны ни к одной из этих групп.

Ряд протеолитических ферментов обнаруживаются еще в непроросшем ячмене. Их активность возрастает в несколько раз в зависимости от условий проращивания.

Расщепление белка под действием эндо- и экзопептидаз можно представить следующей схемой:



Это расщепление протекает далее по-разному, в зависимости от соблюдения определенных условий солодоращения, сопровождаясь, например, образованием

большого числа высокомолекулярных продуктов распада или большего количества аминокислот. Так как каждая из данных групп имеет значение для свойств готового пива, то расщепление белка должно быть ни слишком низким, ни слишком глубоким: например, аминокислоты важны для питания дрожжей, а полипептиды влияют на пеностойкость и полностью вкуса пива.

Для оценки степени растворения белка сначала определяют количество растворимого азота (в процентах к общему азоту, число Кольбаха). В зависимости от содержания азота в солоде оно колеблется от 35 до 50 % общего азота, причем при условии, что содержание белка составляет 10-10,5 %, приемлемой степенью растворения белка считается 38-42%, соответствующее 600-700 мг растворимого азота на 100 г СВ солода. Это количество можно точнее определить с помощью реакции осаждения или иных методов исследования (табл. 1.2).

Расщепление белка затрагивает по преимуществу резервный белок в клетках под алейроновым слоем, поставляющий основное количество водорастворимых белков для питания зародыша. При правильном ведении грядки белок расщепляется лишь в той степени, в какой это необходимо для оптимального растворения. Клеящее вещество при этом практически не затрагивается, и его можно обнаружить в почти неизменном виде в пивной дробине.

Таблица 1.2. Распределение азотсодержащих соединений

Содержание растворимого азота 600-700 мг/100 г СВ солода		
Высокомолекулярные соединения, 20 %	Соединения со средней молекулярной массой, 20 %	Низкомолекулярные соединения, 60 %
Из них около 33 % — коагулируемый азот		Из них около 60 % — формольный азот и около 35 % — α-аминный азот

Природные белки расщепляются в той или иной степени протеолитическими ферментами. Если содержание альбуминов и глобулинов сначала убывает, а к концу проращивания их содержание возрастает, то содержание проламинов (гордеин) сначала медленно, а затем быстро и неуклонно снижается примерно до 40 % первоначального значения. Аналогичное изменение претерпевают глютенины, которые в конце проращивания вновь синтезируются из низкомолекулярных соединений. По мере снижения содержания белка содержание продуктов его распада возрастает. Содержание общего азота значительно возрастает уже в первые сутки проращивания, особенно при высоких начальных температурах. Как правило, через 4-5 сут оно достигает своего предельного значения. Содержание аминокислот также постоянно растет. При более продолжительном проращивании они вновь расходуются на расщепление преимущественно нерастворимого белка, так что в последние сутки проращивания наблюдается снижение содержания аминокислот. Таким образом, на 4-6-е сут наступает своего рода равновесие между расщеплением белков и их и синтезом. На состояние равновесия можно воздействовать ведением процесса проращивания (табл. 1.3).

При высоком растворении белка вследствие высокой влажности проращиваемого материала, пониженной температуры и оптимального времени проращивания содержание высокомолекулярных соединений хотя и возрастает в абсолютном выражении, в процентном отношении снижается. Содержание же низкомолекулярного

кислот также постоянно растет. При более продолжительном проращивании они вновь расходуются на расщепление преимущественно нерастворимого белка, так что в последние сутки проращивания наблюдается снижение содержания аминокислот. Таким образом, на 4-6-е сут наступает своего рода равновесие между расщеплением белков и их и синтезом. На состояние равновесия можно воздействовать ведением процесса проращивания (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Степень растворения белка при различных режимах проращивания

Влажность, %	40	43	46	
Степень растворения белка, %	39,5	43,9	46,1	
Температура проращивания, °С	13	15	17	
Степень растворения белка, %	44,9	43,9	41,9	
Продолжительность проращивания, сут	4	5	6	7
Степень растворения белка, %	35,4	38,8	39,8	40,9
Доля CO ₂ через 3 сут проращивания, %	0	10	20	
Степень растворения белка, %	40,9	38,0	42,8	

Таблица 1.4. Содержание α-аминного азота при различных режимах проращивания

Влажность, %	39	42	45	48	
Содержание α-аминного азота, мг/100 г СВ	105	112	136	175	
Температура проращивания, °С	12	15	18		
Содержание α-аминного азота, мг/100 г СВ	150	132	120		
Продолжительность проращивания, сут	4	5	6	7	8
Содержание α-аминного азота, мг/100 г СВ	125	128	135	145	142
Доля CO ₂ через 3 сут проращивания, %		0	10	20	
Содержание α-аминного азота, мг/100г СВ		134	140	159	

белка постоянно возрастает. Это соотношение может несколько изменяться при высоких температурах проращивания и применении особых способов солодоращения (например, при перезамачивании).

На растворимость белка влияют свойства ячменя, содержание в нем белка, а также качественный состав белков ячменя. Ячмень с высоким содержанием белка при одинаковых условиях солодоращения в большинстве случаев дает более низкую степень растворения белка, чем ячмень с пониженным содержанием белка. Хотя между растворимостью белка и растворимостью клетчатки не существует явной взаимосвязи, если необходимо достичь желаемой расстигаемости эндосперма цитолитическому растворению должно предшествовать определенное расщепление белка. На характеристики растворения белка влияют также сорт, место возделывания, степень зрелости и гомогенность партий ячменя. При солодоращении в зародыше корня происходят потери белка (для нормально проросшего ячменя их можно принять равными примерно 10%). Вследствие потерь веществ при солодоращении, например, из-за дыхания и развития зародыша корня, абсолютное содержание белка в свежепроросшем солоде убывает только на 0,01-0,5 %.

Учет данных о расщеплении белка растворимым азотом солода или α -аминным азотом ничего не говорит об изменении доли отдельных аминокислот, важных для процесса брожения, — лейцина, изолейцина или валина. Исследования показали, что при плохом растворении солода (вследствие низкой влажности проращиваемого материала) абсолютное и относительное содержание аминокислот было низким. Аналогичный эффект вызывается

более высокими температурами проращивания (18-21 °C).

То же относится и к 5-метилметиону — предшественнику диметилсульфида. При определении свободных аминокислот, как правило, важная циклическая аминокислота — пролин — не определяется. В конгрессном сусле она присутствует в количестве 300-500 мг/дм³, зависящем от сорта ячменя, климата (при континентальном оно меньше, чем при морском), а также от условий проращивания.

Важную роль в физиологическом отношении играют амины, образующиеся путем декарбоксилирования аминокислот. Так, например, гистамин образуется из гистидина, тирамин — из тирозина, триптамин — из триптофана, а горденин — путем переноса второй метильной группы на тирамин, образуется также грамин из триптофана. Образование аминов при солодоращении является обычным параметром, как и растворение белка или содержание свободного α -аминного азота (табл. 4.19, 4.20), но температура проращивания действует иначе, чем при гидролизе протенинов и пептидов. При высокой температуре проращивания повышается содержание гистамина, горденина, тирамина и триптамина, при повышении влажности повышается содержание гистамина, содержание горденина уменьшается, а количество других аминов достигает максимума при влажности 44 %. Более продолжительное проращивание приводит к увеличению их содержания, причем атмосфера CO₂ благоприятна для гистамина (и содержания свободного аминного азота), а для горденина, тирамина, триптамина такое проращивание, наоборот, приводит к снижению их содержания. Последние играют определенную роль как прекурсоры нитрозаминов, образующихся при сушке и подвяливания (см. раздел 1.6.1.2).

1.4.1.3. Расщепление фосфатов. В ячмене содержится около 20 % фосфатов в неорганической форме, а в солоде в результате различных превращений — до 40 %. Фосфатазы, действующие при проращивании, расщепляют эфирные связи фосфорной кислоты и ее кислых солей (первичных фосфатов) с органическими соединениями. Тем самым повышается титруемая и общая кислотность зерна. Значение рН конгрессного сула снижается несмотря на повышение буферной емкости, что свидетельствует об усиленном образовании кислоты в зерне, обусловленном не только расщеплением органических фосфатов и переходом в неорганические буферные системы, но и накоплением органических кислот как промежуточных продуктов обмена веществ. Дезаминирование аминокислот и расщепление цистеина способствуют увеличению кислотности солода, которая при проращивании устанавливается обычно на уровне 5,9-6,1.

1.4.1.4. Расщепление крахмала. Амилазы (различают α - и β -амилазы) расщепляют нативный крахмал в мальтозу, β -Амилаза воздействует на молекулу амилозы или амилопектина с нередуцирующего конца и отщепляет молекулу мальтозы, α -Амилаза, напротив, действует на внутренние связи, причем при этом образуются низкомолекулярные декстрины, содержащие в местах присоединения глюкозных остатков по α -1,6-связи боковые цепочки. Образовавшиеся декстрины становятся доступными для нового воздействия β -амилазы, но после того, как β -амилаза гидролизует клейстеризованный при затирании крахмал до мальтозы, оставшиеся негидролизованные декстрины могут быть вновь атакованы α -амилазой. Оба фермента способны расщеплять только

α -1,4-связи, так что даже при длительном воздействии в оптимальных условиях может образоваться только около 80 % мальтозы, мальтотриозы и глюкозы. Остаток представлен предельными декстринами с α -1,6-связями. Дальнейшее расщепление декстринов происходит с помощью предельной декстриназы или R-фермента, способствующих разрыву α -1,6-связей, что в амилопектине или олигосахаридах приводит к гидролизу мест разветвления.

Мальтоза подвергается дальнейшему расщеплению мальтазой с образованием глюкозы. Сахароза расщепляется сахаразой до глюкозы и фруктозы.

β -Амилаза содержится в непроросшем ячмене в свободной и связанной формах и может быть активирована обработкой размолотого зерна протеолитическими ферментами или восстановителями с тиоловыми группами. Латентный фермент связан с нерастворимым протеином дисульфидными мостиками, и во время проращивания он переходит в растворимое состояние и активируется. Лучше всего β -амилаза активируется при средней влажности проращивания, достигая максимума активности уже на 5-е сут проращивания при повышенном содержании CO_2 в окружающем воздухе. Повышение температуры проращивания снижает содержание β -амилазы.

В зерне, находящемся в состоянии покоя, α -амилаза не определяется, так как она присутствует в латентной форме и активируется во время проращивания. Катализаторами процесса ее образования являются гиббереллины, поступающие в алейроновый слой. α -Амилаза синтезируется аминокислотами.

Расщепление крахмала при солодоращении ограничено. Важнейшей задачей проращивания ячменя является активация

и образование амилолитических ферментов (α - и β -амилазы), так как без них при последующем затирании полное осахаривание невозможно. Свое основное действие оба вида амилаз оказывают лишь во время затирания при расщеплении крахмала до Сахаров и декстринов.

Так как контроль цитолиза или протеолиза осуществляется в основном по физическим или химическим показателям солодовой вытяжки или конгрессного сусла, время осахаривания конгрессного сусла и конечная степень его сбраживания нередко является недостаточно информативными показателями. Так, например, содержание амилаз непосредственно определяют при проведении испытаний различных сортов ячменя в начале сбора урожая или для солода с сильной ферментативной активностью. Их общее действие выявляют при определении диастатической силы (ДС); активность α -амилазы определяют по методам ЕВС, а активность β -амилазы — по разности «ДС — 1,2 x активность α -амилазы».

Рост активности α -амилазы возможен лишь при наличии кислорода; ее

повышению способствует постепенно повышающаяся влажность проращиваемого зерна, убывающие температуры проращивания, а также длительные сроки проращивания. Как только в ходе проращивания в воздухе вокруг грядок увеличивается содержание CO_2 , кривая активности α -амилазы выравнивается и идет на спад.

В целом влияние технологических режимов проращивания на активность β -амилазы сравнительно невелико; она достигает своего максимума раньше, чем α -амилаза.

Количество активной β -амилазы в непроросшем ячмене составляет от 60 до 200 градусов Виндиша-Кольбаха ($^{\circ}\text{WK}$) и зависит, прежде всего, от содержания белка в зерне, а также от сорта ячменя, климатических условий, года и места возделывания. Управляя процессом проращивания, развитие амилаз в свежепроросшем солоде можно регулировать следующим образом (табл. 1.5).

При сушке солода часть амилаз теряется, причем β -амилаза более чувствительна к высоким температурам, чем α -амилаза.

Таблица 1.5. Развитие амилаз в свежепроросшем солоде

Влажность проращиваемого зерна, %	40	43	46
Активность α -амилазы, ед. ASBC	58	63	92
β -амилаза, $^{\circ}\text{WK}$	322	366	361
Температура проращивания, $^{\circ}\text{C}^*$	13	15	17
Активность α -амилазы, ед. ASBC	68	69	62
β -амилаза, $^{\circ}\text{WK}$	251	263	230
Продолжительность проращивания, сут	1	3	5
Активность α -амилазы, ед. ASBC	0	24	50
β -амилаза, $^{\circ}\text{WK}$	120	247	347
Содержание CO_2 через 3 сут проращивания, %	0	10	20
Активность α -амилазы, ед. ASBC	74	65	62
β -амилаза, $^{\circ}\text{WK}$	316	320	331

* Значения измерены в готовом сушеном солоде.

Действие амилаз проявляется сначала вблизи зародыша и по мере роста распространяется параллельно всасываемому эпителию. В результате зерна крахмала, граничащие со щитком, постепенно превращаются в различные сахара, которые расходуются на питание зародыша. Потери крахмала в первые сутки проращивания незначительны, однако постоянно увеличиваются в процессе проращивания и достигают примерно 5%.

1.4.1.5. Расщепление липидов. Липазы являются, с одной стороны, эстеразами, расщепляющими глицериновый эфир жирных кислот C_{16} - C_{18} , а с другой — фосфатазами, способными расщеплять фосфолипиды. Согласно последним данным, в зерне, находящемся в состоянии покоя, они не обнаруживаются; активность липаз в зависимости от условий солодоращения растет от щитка к вершине зерна. Важным ферментом для расщепления липидов и соотношения продуцируемых жирных кислот, особенно линолевой и линоленовой, является одна из оксидоредуктаз, а именно *липоксигеназа*. Она превращает ненасыщенную жирную кислоту в соответствующий гидропероксид. Оксидоредуктазы частично проявляют свою активность еще в непроросшем ячмене, в ходе проращивания их количество увеличивается в 6-8 раз, а при сушке их активность в значительной степени нейтрализуется. Под действием липоксигеназы образуются 9- или 13-линолгидрокси-пероксид. Эти два соединения под действием гидропероксидазы превращаются в (E, Z)-2,6-нонадиеналь, который дает в свежепроросшем солоде запах свежих огурцов. Помимо него образуются и другие ароматические вещества — гексанол, (E, E)-, (E, Z)-2,4-декадиеналь. Они, как и образующиеся затем предельные альдегиды,

непредельные углеводороды, алкандиены, а также спирты (например, гексанол-1) способствуют появлению в пиве специфического аромата солода (см. раздел 7.6.5).

При проращивании в течение 7 сут. происходит снижение содержания жирных кислот на 20-27 %, состав триглицеридов смещается в сторону ненасыщенных соединений. Чем сильнее рост зародыша, тем меньше в нем остается отдельных жирных кислот, вплоть до значений 1,05-1,40 %. Тем не менее большая часть липидов ячменя остается в алейроновом слое. В ячмене, выросшем в сухих погодных условиях, содержится больше липидов.

1.4.1.6. Полифенолы содержатся в цветочной оболочке, алейроновом слое и резервном белке. Из цветочной оболочки их можно частично удалить при замачивании, но абсолютные значения содержания этих соединений изменяются при этом незначительно. Растворение полифенолов эндосперма возрастает по мере прогрессирующего расщепления других групп веществ, например, белков, которое продолжается и при затирании. При этом увеличение содержания антоцианогенов идет интенсивнее, чем общих полифенолов. Это также относится к группе танноидов (молекулярная масса — 600-3000 Д). Все полифенольные фракции растворяются параллельно растворению белка, условия для которого известны: высокая влажность проращиваемого материала, средние или снижающиеся температуры проращивания и повышенное содержание CO_2 в окружающем грядку воздухе.

На содержание общих полифенолов и их фракций значительное влияние при проращивании оказывают активные оксидазные системы солода (например,

с каталазами, пероксидазами и полифенолоксидазами). При интенсивном солодоращении эти ферменты образуются в большом количестве и обладают способностью окислять полифенолы, что наряду с образованием кетонных групп проявляется также в укрупнении молекулы.

1.4.1.7. Прочие группы веществ. Наряду с гидролитическими ферментами в ячмене присутствуют и другие ферменты, участвующие в обмене веществ. Эти ферменты с различными свойствами вызывают (в аэробных условиях — через промежуточные стадии) образование воды и CO_2 , при этом, в отличие от гидролиза, высвобождается значительное количество энергии. Тем не менее в отсутствие кислорода протекают анаэробные процессы (например, брожение), при которых образуется меньше энергии (см. раздел 3.2.1.1).

1.4.2. Практические аспекты проращивания

Задача солодоращения заключается в таком управлении сложными процессами проращивания, чтобы изменения веществ в зерне происходили желаемым образом. Для оценки хода и глубины этих процессов на практике выработаны основанные на внешних признаках показатели, среди которых можно выделить две основные группы:

- показатели, характеризующие явления в отдельном зерне, — развитие и образование корешка и листа зародыша, возрастающая растираемость (растворенные) эндосперма;
- показатели, характеризующие явления в грядках, — образование благодаря дыханию водяного пара («пота») диоксида углерода, нагрев прорастающего зерна.

Прежде в токовых солодовнях и при переработке сравнительно небольших партий ячменя измеряли обычно только нагрев грядок (с помощью термометра), а все остальные оценки осуществляли визуально по внешним признакам. Естественно, что при этом первостепенную роль играл опыт солодовщика, выработанное у него «чувство» материала. При применении современных пневматических установок вместимостью 150 т необходимы точные измерения влажности и диоксида углерода, а также фиксация специфических условий проращивания. Солодовщик не выводит новое растение, он лишь направляет превращения в зерне в соответствии с желаемым типом солода, поддерживая в то же время расход веществ на низком уровне. Показателем той или иной степени развития является рост зародыша корешка и листа, а также степень растворения эндосперма.

1.4.2.1. Зародыш корешка оценивают по его длине. Корешки считают короткими, если их длина равна длине зерна, и длинными, если они длиннее зерна в 2–2,5 раза. Равномерность роста корешков позволяет сделать вывод о правильном ведении процесса проращивания, хорошем качестве ячменя и равномерном ходе растворения в целом. Большое значение имеют также вид и форма корешков. При холодном ведении токовых грядок они округлы и рыхлы, при быстром росте и теплом ведении — тонки, нитеобразны, легко вянут. Вид корешков является также показателем влагосодержания грядки. С уменьшением влажности корешки вянут и приобретают коричневатый оттенок. В пневматических солодовнях корешки обычно более слабые и развиваются дольше, чем при токовом солодоращении. Сильный рост корешка свидетельствует

об увеличении потребления белка, при сильных корешках облегчается удаление влаги при подсушивании и сушке ячменя. После достижения определенной стадии роста корешков для регулирования хода солодоращения проводят технологические операции — например, когда все жизнеспособные зерна равномерно проросли, повышают влажность проращиваемого материала до 38-40 % и более. После раздваивания корешков проводят дальнейшее повышение влажности, повторное замачивание и изменение температуры проращивания.

Развитие корешков ограничивают при очень холодном ведении грядок, пониженной и средней влажности проращиваемого материала (в зависимости от метода 42-44 %), насыщении воздуха грядок CO_2 , при повторном замачивании. Длительное или проведенное теплой водой повторное замачивание существенно угнетает рост. Развитию корешков способствует теплое, влажное ведение процесса, а также длительное отсутствие ворошения гряд.

Если корешки не развиваются, то такое зерно называют «непроростками». В этом случае ячмень остается сырым. Непроростки получаются в тех случаях, когда в момент замачивания ячмень не прошел стадию послеуборочного дозревания, неправильно хранился или подвергся избыточному замачиванию.

Вместе с тем нежелателен и очень сильный рост корешков, поскольку при этом увеличиваются потери питательных веществ. При высокой влажности, длительной неподвижности или неправильном ворошении грядок солод слеживается, что ведет к неравномерному растворению и окрашиванию. Уже при проращивании из-за неудовлетворительной конструкции ворошителей корешки могут

повреждаться и обламываться. Поврежденные корешки, как и проращивание перезрелого ячменя, приводит к чрезмерному развитию зародышевого листка.

Чтобы иметь представление о ходе развития зародыша, необходимо ежедневно определять процентное содержание наклюнувшихся, развивающихся и непроросших зерен и вносить эти данные в контрольный журнал. То же относится и к контролю развития зародышевого листка.

1.4.2.2. Зародышевый листок оценивают также по длине, сравнивая ее с длиной зерна. Выделяют обычно следующие стадии: 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 и более 1. У непроростков зародышевый листок не развивается. Определенная часть листков достигает длины зерна и даже превышает ее. У светлых солодов зародышевый листок несколько короче, чем у темных. При современных системах солодоращения длина ростка составляет в среднем $\frac{3}{4}$ при этом более 84 % ростков должны иметь длину от $\frac{1}{2}$ до 1, а у темного солода 75 % ростков — от $\frac{3}{4}$ до 1. Зародышевый листок встречается и у высушенного солода, являясь показателем равномерности роста. Он позволяет составить представление о растворимости только при холодном и медленном ведении грядки. Как показатель равномерности роста развитие ростков имеет большое значение: неодинаковая длина характерна для плохо отсортированного, смешанного (негомогенного) или неравномерно прорастающего ячменя. Слишком раннее повышение влажности при проращивании или слишком теплое, не соответствующее влажности материалов, ведение грядок дают очень сильный, но неравномерный рост листа. Если зародышевый листок перерастает длину зерна, говорят

об образовании проростков («гусаров»), наблюдающемся при повышенной влажности, слишком теплом ведении солодоращения или затянутых его сроках. Наличие проростков позволяет предполагать чрезмерное растворение и избыточное потребление веществ. Содержание в темном солоде 5-10% проростков представляет собой нормальное явление, в светлом же солоде это свидетельствует о форсированном или слишком продолжительном проращивании. При повреждении зародышевого корешка зародышевый листок обычно развивается слишком интенсивно. По боковому прорастанию зародышевого листка выявляют повреждение цветочной оболочки. Ячмень, проросший уже в поле, отличается повышенной степенью образования проростков.

Длину зародышевого листка, как и зародышевого корешка, можно искусственно регулировать (обычно они взаимосвязаны). Благодаря частому ворошению и особенно многократному опрыскиванию рост листочка усиливается, а при насыщении окружающего грядки воздуха диоксидом углерода, снижении температуры проращивания и увеличении продолжительности повторного замачивания — угнетается. Постепенное и многократное повышение влажности материала также способствует усиленному развитию зародышевого листка.

Мероприятия, проводимые в последние 48-72 ч проращивания для улучшения растворения солода (опрыскивание или повышение температуры грядок), во избежание образования «гусаров» должны осуществляться лишь после оценки роста зародышевого листка.

1-4.2.3. Растворение зерна можно проследить по изменению растираемости эндосперма. Растворение начинается в слое

эндосперма, ограничивающем зародыш, а затем проходит в направлении кончика зерна. При этом спинка зерна, по которой продвигается зародышевый листок, растворяется быстрее, чем брюшная сторона. Отдельные партии зерна характеризуются различной растворимостью, благодаря чему растворение эндосперма не может быть произвольно ускорено: если, например, способствовать действию комплексов гемицеллюлаз и пептидаз путем поддержания более высоких температур проращивания, действие фермента усиливается лишь на базальной стороне, а с заостренной стороны зерна растворение не ускорится. В то время как зародышевые листок и корешок быстро и мощно развиваются, изменения в эндосперме отстают: зона растворения стенок клеток больше не соответствует длине листочка. Напротив, если во время фазы растворения проращивание ведется в атмосфере диоксида углерода или при повторном замачивании, растворение проходит дальше, чем следовало бы ожидать на основе анализа растущих органов.

Растворимость ячменя различна: ячмень, бедный белками или выросший в дождливые годы либо в приморских местностях, растворяются при условии равной энергии прорастания и водочувствительности быстрее и глубже, чем богатые белками или выросшие в сухие годы. Крупнозерные ячмени растворяются несколько медленнее, чем мелкозерные, так как растворяющаяся поверхность стенок клеток у последних больше. Растворимость в очень большой степени зависит от сорта ячменя, а также от климатических условий года.

Степень растворения следует оценивать в зависимости от типа получаемого солода. Светлый солод требует хорошего,

равномерного растворения, но в более узких пределах, чем темный. При получении темного солода в целях более позднего образования при проращивании красящих и ароматических веществ стремятся к очень глубокому растворению, которое дополнительно интенсифицируют путем соответствующего проведения замачивания.

Если степень растворения недостаточна для данного типа солода, говорят о низкой степени растворения или о «недорастворении». Последнее определяет затрудненную растираемость зерна, которая обычно захватывает только половину зерна и обуславливает небольшую ферментативную силу солода. Такой солод осахаривается в варочном цехе медленнее, дает более низкую конечную степень сбраживания и обеспечивает лишь средний выход экстракта. Из-за недостатка аминокислот брожение может протекать неудовлетворительно, дображивание раньше времени прекращается, а пиво характеризуется низкой фильтрационной способностью. Особенно весомыми эти признаки могут быть тогда, когда недорастворение солода обусловлено неравномерным или неполным проращением.

Перерастворенный солод характеризуется полностью растираемым эндоспермом зерна, высоким фильтрационным потенциалом и глубоким расщеплением всех групп веществ. Если даже процесс пивоварения в целом протекает без осложнений, полученное пиво приобретает «пустой», жесткий вкус и недостаточную пеностойкость. Перерастворение с трудом компенсируется затираем. Слаборастворенный солод до известной степени позволяет (путем интенсификации затираания) достичь удовлетворительного расщепления группы веществ.

Перерастворение солода происходит, если для данного качества ячменя используется слишком высокая степень увлажнения, очень теплое ведение грядок и избыточная продолжительность проращивания.

Недорастворение вызывается слишком холодным, сухим или слишком непродолжительным проращиванием. Неравномерное проращение ячменей может вызывать оба этих явления в зависимости от того, проводится ли проращивание без учета замедленно прорастающих и соответственно растущих зерен или ожидалось нормальное растворение, которое затем перешло в перерастворение. К нежелательным результатам приводит также «салистое» растворение, которое может иметь место при избыточном опрыскивании и прежде всего при недостатке кислорода (интрамолекулярное дыхание). Такие зерна с трудом высушиваются и дают плохо окрашенный жесткий солод.

В качестве механических методов исследования для контроля цитолиза служат анализ среза, который преимущественно осуществляют по длине зерна (при прочих равных условиях может сравниваться развитие зародышевого листка), проверка полновесности зерна, определение удельной массы зерна, которое подобно массе гектолитра дает подтверждение объемных соотношений в солоде и тем самым заключение о рыхлости. Объективное измерение рыхлости возможно с помощью прибора Брабендера, фриабилметра или применения методов окрашивания. Калькофлер окрашивает нерастворенные партии (как в реакции с β -глюканом) и дает светло-голубую флуоресценцию, а растворенные партии — в темно-синий. Метиленовый синий окрашивает растворенные части в синий, а нерастворенные части не окрашиваются.

В зависимости от окраски зерна подразделяются на отдельные категории, с помощью которых определяется гомогенность партии. При применении химических методов вполне надежным показателем цитолиза является разность экстрактов солода тонкого и грубого помолов или вязкость, определяемая в конгрессном сусле (особенно при затирании при температуре 65 °С). Целесообразно определять и степень растворимости белка солода, а также (при частой смене сорта ячменя и поступлении его из разных мест) содержание низкомолекулярного азота (азота, определяемого формальным титрованием, и, соответственно, α-аминового азота). Вместо последнего определения достаточно числа Гартонга-Кретчера (при температурах 20, 45, 65 и 80 °С, особенно VZ 45 °С), которое позволяет не только оценить степень растворения и ферментативную силу солода, но и содержание α-аминового азота (см. раздел 1.8.3).

1.4.2.4. Потребление веществ при проращивании. При прорастании зерно покрывает свою потребность в энергии с помощью дыхания, при котором часть крахмала эндосперма окисляется до образования диоксида углерода и воды. Выделяющееся при этом тепло способствует среди прочего повышению температуры прорастающей грядки.

При нормальных условиях в процессе солодоращения происходит убыль содержания сухих веществ на 8 % (см. раздел 8.1) и окисляется около 4,5% веще-

ства зерна. Это количество включает 4,2 % крахмала с теплотой сгорания 17 388 кДж/кг (4140 ккал/кг) и 0,3 % жиров с теплотой сгорания 39 480 кДж/кг (9400 ккал/кг). Следовательно, при проращивании 1 кг ячменя высвобождается 848 820 кДж (202 100 ккал) тепла. Образуются и другие продукты окисления: 68 кг CO₂ и 28 кг воды.

Полученные величины можно использовать как исходные данные для расчета холодильных установок и для определения производительности воздушных вентиляторов. При восьмисуточном традиционном проращивании выделяется следующее количество теплоты на 1 т проращиваемого зерна в час (табл. 1.6).

При современных методах ведения гряд, которые предусматривают проращивание уже во время замачивания, максимум достигается раньше, чем в рассмотренном примере: работали преимущественно с влажным замачиванием, при котором проращивание в первые 24 ч идет медленно. Поэтому тепло, выделяющееся на 1-2 сут проращивания, должно отводиться уже во время замачивания. С другой стороны, поскольку процент убыли сухих веществ при сокращенных замачивании и проращивании остается приблизительно тем же, при сокращении этого времени с 8 до 6 сут следует учитывать повышение максимума тепловыделения 9600 кДж/т · ч (2300 ккал/т · ч). Значительное повышение тепловыделения может быть вызвано применением регуляторов роста (см. раздел 1.5.3.9).

Таблица 1.6. Выделение тепла на 1 т проращиваемого зерна в час

Сутки проращивания	1	2	3	4	5	6	7	8
Выделяемая теплота, ккал/т · ч	320	520	880	1310	1470	1360	1280	1280
кДж/т · ч	1340	2175	3680	5480	6150	5690	5350	5350

1.4.2.5. Условия проращивания. Ростом ячменя и процессом растворения можно управлять с помощью регулирования условий проращивания. В зависимости от температуры, поддерживаемой при проращивании, говорят о холодном и теплом ведении грядки. При холодном ведении грядки проращивание активируется в области температур от 12 до 16 °С, при этом сначала наблюдается слабый, но равномерный рост, замедленное образование и действие ферментов. При таком развитии рост протекает приблизительно параллельно с цитолизом. Большие трудности при токовом солодоращении встречаются в случае холодного ведения грядок так называемого «греющегося» ячменя, которые в первые дни проращивания легко разогреваются и проявляют склонность к высыханию. Греющийся ячмень, обычно незрелый, а иногда выросший при коротком, жарком и сухом вегетационном периоде, требует для соответствующего растворения более высокого влагосодержания, а в конце проращивания — повышенной температуры. Здесь целесообразно именно во второй половине проращивания (так называемой фазе растворения) применять более высокие (18-20 и даже 22 °С) температуры, но во избежание неравномерности роста и действия ферментов в первые дни проращивания необходимо обеспечить холодное ведение грядок (12-16 °С).

При теплом ведении грядки потери выше. Светлый солод во второй половине солодоращения обычно разогревается, так как это необходимо для достижения необходимого цитолиза. При получении темного солода для процессов глубокого расщепления необходим подъём температур.

В последнее время на современных установках для замачивания и проращи-

вания все более широкое применение находит метод *проращивания при снижающихся температурах*. Из аппаратов для замачивания материал в равномерно пророщенном и увлажненном состоянии попадает в аппарат для пневматического замачивания при влажности 38-39 % (даже 41-42 %) и температуре 17- 18 °С. Эта температура сохраняется около 2 сут при постепенном повышении влажности. С достижением максимальной влажности в конце биологической фазы проводят охлаждение до температуры 10-13 °С в зависимости от имеющегося в распоряжении времени проращивания и желаемой степени растворения. Сравнительно теплая фаза прорастания при еще невысокой влажности благоприятствует быстрому росту и усиленному образованию ферментов, которое вместо достижения равновесного состояния продолжает возрастать благодаря быстрому охлаждению грядки при одновременном увеличении влажности. Вследствие высокой влажности процессы растворения стимулируются, несмотря на низкие температуры. Зародыш стремится сохранить скорость роста и преодолевает ухудшившиеся жизненные условия благодаря усиленному образованию ферментов. Потери при этом способе меньше, чем обычном солодоращении.

При современных методах солодоращения *влажность проращиваемого материала* в замочном аппарате поддерживают лишь на уровне, необходимом для равномерного прорастания замачиваемого материала. Наибольшая равномерность прорастания достигается при влажности 38-40%, которую следует поддерживать до момента прорастания всех всхожих зерен. Такая влажность для получения необходимого количества ферментов и желаемой степени растворения неприемлема,

и требуется ее увеличение до 44-48 и даже 50 %. Достигается это путем поглощения воды при «мокром» замачивании, путем опрыскивания или заливки грядки. Если на току при правильном его устройстве поддержание нужной влажности не создает трудностей, так как возникающий конденсат замещает испаряющуюся воду, в пневматических системах может возникнуть риск высыхания. В них воздушный поток вряд ли насыщается влагой, тогда как разогрев воздуха в грядке вынужденно обуславливает снижение его относительной влажности, в связи с чем высыхание в грядке тем сильнее, чем больше разность температур поступающего воздуха и проращиваемого материала. Так как влажность материала существенно влияет на изменение веществ в зерне (причем она безусловно доминирует над температурой), большое значение имеет ежедневное определение влажности.

Соотношение кислород-диоксид углерода в замочном аппарате и в первые дни проращивания должно быть в пользу кислорода, так как образование эндоферментов происходит только в присутствии достаточного количества кислорода. На ранней стадии (в биологической фазе) CO_2 вызывает снижение жизненной активности зародыша, а на стадии растворения наличие около 3-5 % CO_2 может притормозить слишком быстрый рост.

Повышенное содержание CO_2 приводит к получению солода, сравнительно обедненного ферментами, но в котором из-за угнетения роста содержится больше низкомолекулярных веществ. Продолжительность проращивания прежде была весьма различной в зависимости от типа солода, его сорта, условий года и т. п. В настоящее время определенное ведение замачивания позволяет достичь ускорения физиологических процессов таким образом, что ячмень после 36-48 ч замачивания уже готов к проращиванию. Общая продолжительность замачивания и проращивания составляет 6-8 сут (1 сут замачивания и 6 сут проращивания или 2 сут замачивания и 5 сут проращивания). В производственных условиях с учетом технико-эксплуатационных особенностей установлен недельный ритм проращивания, позволяющий путем изменения влажности проращиваемого материала добиваться необходимой степени растворения вплоть до получения темного солода. У нормально растворенного солода сокращение продолжительности замачивания и проращивания компенсируется повышенным влажностью замачиваемого продукта. При равномерном цитолизе степень растворения белка высокая, что для пивоваренных заводов, как правило, нежелательно (см. табл. 1.7).

Низкая влажность проращиваемого материала, низкие температуры грядки

Таблица 1.7. Показатели солода при разных условиях проращивания

Продолжительность замачивания и проращивания, сут	6	7
Влажность свежепросоженного солода, %	48	45
Разность экстрактов тонкого и грубого помолов, %	1,7	1,7
Вязкость, мПа·с	1,53	1,52
Показания по фриабилметру/кол-во стекловидных зерен, %	84/1,5	87/1,0
Степень растворения белка, %	42,2	39,8
VZ 45 °C	38,2	37,8

и насыщение диоксидом углерода увеличивают продолжительность проращивания, а высокая влажность, рассчитанные для нее температуры проращивания и беспрепятственный доступ кислорода это время сокращают.

К условиям проращивания относят также применение ростовых веществ (регуляторов роста) и ингибиторов прорастания. Действие экзогенных, то есть добавляемых извне, гиббереллинов можно поддержать снятием или разрушением оболочек зерна. Применение такого рода добавок в Германии запрещено (см. раздел 1.5.3.9).

1.5. Различные системы солодоращения

1.5.1. Токовая солодовня

Токовая солодовня — самый простой вид солодовен. В настоящее время таких солодовен почти не осталось, но основные особенности токового солодоращения мы считаем все же целесообразным рассмотреть.

1.5.1.1. Помещение для солодоращения (ток) не должно зависеть от колебания наружных температур, и температура в нем должна оставаться одинаковой — от 10 до 12 °С. Если ток легко нагревается, встает вопрос о целесообразности холодного ведения гряд. Если ток слишком холодный, увеличивается продолжительность проращивания, которое в этом случае длится до тех пор, пока в замоченной грядке за счет жизнедеятельности зерна не будет достигнута желаемая температура проращивания.

Поэтому старые токовые солодовни сооружали, как правило, под землей.

Только при неблагоприятных условиях для строительства, например в случае высокого уровня залегания грунтовых вод, ток располагали над землей, в несколько этажей друг над другом. В этом случае требовалась соответствующая изоляция стен и сводов. Фундамент тока не должен оказывать влияния на влажность и температуру свежепросоженного солода. Самым хорошим материалом основания тока является глина. При ее отсутствии изоляцию тока от естественного грунта обеспечивают за счет использования слоев из разных материалов — снизу 30 см гравия или щебня, 30 см утрамбованной глины и, наконец, собственно покрытия тока из плиток или цементной стяжки. Такое покрытие пола должно быть долговечным, гладким и бесшовным. Небольшой уклон служит для стока воды; он оканчивается трапом с канализационным сифонным затвором. Сточные ямы следует герметизировать; их чистку производят механически и дезинфицируют хлорсодержащими средствами (хлорной известью, хлорным белильным щелоком).

1.5.1.2. Искусственное охлаждение токов осуществляется эффективно с помощью систем охлаждения с использованием рассола, аммиака или фреона F22. Устройства охлаждения во избежание высыхания или прорастания грядки должны монтироваться на своде тока. Высыхание происходит вследствие конденсирования влаги из воздуха на трубах системы охлаждения, а прорастание — в результате отпотевания труб. Поэтому под трубами необходимо разместить сточные желоба. На небольших токах системы охлаждения размещают также на стенах, однако снижения влажности грядки полностью избежать не удается, в связи с чем в период

проращивания ее следует орошать 1-2 раза. Использование систем охлаждения увеличивает продолжительность солодоращения, существенно повышает производительность тока и обеспечивает поддержание необходимых условий проращивания. Искусственное подогревание тока достигается с помощью печей или радиаторов отопления, но при этом возникает опасность высыхания гряд. Обычно на холодных токах грядки делают более высокими.

1.5.1.3. Влажность воздуха имеет такое же значение, как и температура помещения токовой солодовни. Грядка склонна к высыханию, если относительная влажность воздуха не превышает 95 %. Влажность воздуха зависит от его количества и его смен на току. Количество воздуха определяется в первую очередь высотой помещения, которая не должна превышать 3-4 м. На слишком высоких токах невозможно поддерживать влажность воздуха из-за его избыточной циркуляции, что приводит к высыханию гряд. Недостатком очень низких токов является появление затхлости в помещениях, что вынуждает чаще проводить воздухообмен. Высота тока должна быть по возможности одинаковой. Наличие балок и углов затрудняет проведение равномерного вентилирования помещения тока.

Воздухообмен на токах не должен быть слишком частым. Во избежание высыхания гряд следует избегать сквозняков. Для вентиляции служат воздушные каналы, проложенные в стенах тока. Использованный воздух отводится наружу в самой высокой точке помещения. Воздушные каналы должны иметь достаточный диаметр, снабжены затворами и скосы вниз во избежание забивки. Следует избегать нерегулируемого подвода воздуха

через вытяжку и плохо закрывающиеся двери и окна. Применение вентиляторов для проветривания токов обычно даст отрицательный эффект. Влажность воздуха определяют с помощью психрометров и гигрометров, фиксируя данные в специальном журнале.

1.5.1.4. Площадь тока определяет его производительность и зависит от высоты грядок. При 10-12 °С 100 кг ячменя дает 3,2-3,6 м³ свежепросоженного солода. Поскольку в стадии самого сильного роста высота грядки может быть около 9-10 см, на 1 т ячменя требуется 32-36 м² площади тока. С 1 м² свежепросоженного солода можно получить приблизительно из 30 кг ячменя (в зависимости от температуры тока).

1.5.1.5. При проращивании материал не следует подвергать действию *света*. Количество окон во избежание колебаний температуры необходимо ограничить, в связи с чем на току требуется искусственное освещение.

Чистку токов проводят обычно щетками и метлами, но применяют также и моечные аппараты высокого давления с использованием простых дезинфицирующих средств (например, извести). При длительном простое токов целесообразно провести их чистку и дезинфекцию хлорсодержащими средствами. К помещению тока необходимо обеспечить подвод воды.

1.5.1.6. Ведение растительной грядки на току. Закладку зерна на току всегда производят без воды, то есть в период воздушной паузы замачивания или после предварительного спуска замочной воды. Для хода процесса проращивания большое значение имеет распределение

материала. От высоты влажной грядки зависят скорость высыхания и начало прорастания зерна, поскольку оба эти процесса развиваются уже в аппарате для замачивания. Если зерно было замочено слабо, грядку делают высотой 30-40 см. В этом случае на току проводят «дозамачивание», при котором зерно поглощает адгезионную воду. Ведение грядок на более теплом току обычно требует орошения. Высокие грядки расширяют, чтобы не допустить слишком быстрого повышения температуры и равномерно поддержать начало прорастания в наклонившейся растильной грядке. Невысокий (15-20 см) слой гарантирует сохранение низких температур.

В сухой растильной гряде наблюдаются заметные признаки прорастания: образование корешков (если оно уже не произошло в замочном аппарате), повышение температуры и отпотевание. Поэтому крайне важно сразу позаботиться о том, чтобы начало процесса жизнедеятельности протекало не слишком быстро. Ведение грядки необходимо построить таким образом, чтобы сохранялась возможность правильного регулирования процесса прорастания, то есть согласования действия ферментов внутри зерна внешним признакам роста. Если гряда перегреется уже вначале, то процесс может стать неуправляемым. Средством предупреждения слишком быстрого роста является охлаждение гряды путем увеличения ее поверхности. Возможность выбора высоты слоя прорастиваемого материала является основным преимуществом токовой солодовни.

Вторым основным средством регулирования роста и обмена веществ является ворошение — это работа, требующая наблюдательности, многолетнего опыта и добросовестного отношения.

Вторым фактором, с помощью которого можно регулировать обмен веществ и рост, является ворошение грядки. Ворошение преследует цель выравнивания температуры и влажности путем эффективного перемешивания и перекладки прорастиваемого материала, что препятствует «схватыванию» грядки (прорастанию корешков друг в друга) и обеспечивает доступ свежего воздуха к прорастиваемому материалу. Ворошение должно проводиться своевременно и в нужных местах. Слишком частое ворошение без необходимости снижает влажность материала, слишком сильно его охлаждает и интенсифицирует дыхание благодаря подведению кислорода. Целесообразнее проводить охлаждение материала путем «распускания», а не с помощью частого ворошения грядки. При не слишком низкой температуре наружного воздуха окна и вентиляционные отверстия во время ворошения могут оставаться открытыми. После ворошения их закрывают.

Если влажную грядку ворошат 2 раза в сутки, то наклонившуюся грядку можно ворошить 3 раза. Грядка должна иметь одинаковую высоту во всех точках тока, за исключением особо холодных и теплых мест, а также мест, подверженных сквознякам. На 3-й сут прорастивания усиливаются рост, образование корней и ростков листа. Молодую грядку распределяют по наибольшей площади тока, чтобы обеспечить не слишком быстрый и глубокий ход процессов жизнедеятельности, причем в зависимости от температуры высота грядки составляет 9-10 см. Предельная температура молодой гряды — 15-16 °С, и превышать ее недопустимо. В зависимости от состояния роста ворошение молодой грядки проводят, как правило, примерно через 8 ч. На 5-е сут. наступает стадия так называемой

«растущей» грядки. Солодоращение легкорастворимого ячменя можно вести дальше при одинаковой температуре, как и молодую грядку. При работе с трудно растворимым ячменем или при получении темного свежепросошедшего солода температура грядки на этой стадии ежедневно поднимается на 1-2 °С.

Ворошение проводят 2 раза в сутки. Нередко при скудном замачивании у ячменя, выросших в жарких и сухих условиях, а также на сухих и продуваемых токах, активность роста падает. Отпотевание после ворошения идет медленно, нагревание гряды затормаживается. При появлении признаков недостаточной влажности процессы жизнедеятельности необходимо искусственно стимулировать путем дополнительного увлажнения, и грядку опрыскивают водой из садовой лейки или опрыскивателя. При этом температура воды должна быть равной температуре грядки, а на очень холодном току — несколько теплее. В зависимости от момента прорастания орошение проводят на 4-е, самое позднее — на 5-е сут проращивания. Более позднее орошение применяют главным образом при получении темного свежепросошедшего солода.

На 6-е сут энергия прорастания идет на убыль, изменения в зерне ослабевают, а повышение температуры замедляется. Если в первые 4-5 сут жизненные процессы искусственно тормозят путем распускания грядки, то начиная с 6-х сут их интенсивно стимулируют. Это осуществляется за счет *схватывания растительной грядки*: грядку оставляют без ворошения на 24 ч и дольше. Тем самым не только интенсифицируется рост — из-за более редкого ворошения корешки прорастают друг в друга, а сама гряда образует единую сросшуюся массу. Происходит обильное отпотевание, температура

несколько повышается. Схватывание гряды используется для достижения лучшего растворения ячменя, особенно при получении темного, хорошо растворенного солода или при солодоращении трудно растворимого ячменя. В последнем случае рекомендуется применять двукратное схватывание: так, например, на 5-6-е сут в течение 16-18 ч грядкам дают «схватиться», а затем на 6-7-е сут их оставляют в покое на 24 ч. Для легкорастворимого ячменя схватывание вообще не требуется или необходимо лишь частично. Благодаря насыщению грядки CO_2 дыхание свежепросошедшего солода сокращается. Поэтому, а также вследствие ослабления роста повышается содержание в зерне низкомолекулярных веществ (сахаров, аминокислот). Температура схваченной гряды составляет 18-22 °С. На 6-7-е и последующие сутки приходится стадия так называемой старой грядки. Отпотевание и рост постепенно прекращаются, ворошение требуется все реже. При достижении необходимой степени растворения свежепросошедший солод подается на сушку. Прежде длительность проращивания составляла 7-8 сут для светлого солода и 8-11 сут — для темного. Последний часто оставляли в последние два дня на так называемом замочном току, особенно если грядки должны были сушиться в несколько партий. Выведение ячменя, богатого ферментами, и современная технология замачивания с контролем влажности проращиваемого материала позволяют даже для темного солода ограничиться проращиванием в течение 6-7 сут.

Оптимальными являются температура 10-12 °С и влажность 90-95 %. Температуру выбирают в зависимости от растворимости ячменя и регулируют путем изменения площади поверхности грядки. Возможность последнего определяется

вместимостью тока. Установленная при замачивании 43-45 %-ная влажность сравнительно легко поддерживается па току.

Надежным, используемым на практике критерием интенсивности дыхания и обмена веществ является также отпотевание. Если, однако, поддержание влажности в грядках на току несложно, то увеличение влажности грядки более чем на 2-3 % оказывается затруднительным. Орошение интенсифицирует рост и дыхание, усложняя поддержание желательной температуры гряды. При получении темных солодов это имеет значение лишь в конце проращивания. На этом основании можно заключить, что влажность грядок, предназначенных для переработки на току, необходимо доводить при замачивании до максимально возможной величины, в крайнем случае лишь на 2 % ниже максимальной. Это, правда, приводит к увеличению времени замачивания.

Образующийся в процессе дыхания диоксид углерода стекает по грядке токовой солодовни. Его количество при тонком слое грядки составляет не более 1-2 %, и лишь в первые дни проращивания и при растаскивании грядки оно немного повышается. Специально подавать воздух не требуется, поскольку происходит достаточный воздухообмен.

1.5.1.7. Производительность токовой солодовни зависит от размера тока, потребности в площади для свежепросошедшего солода, продолжительности всего цикла солодоращения, а также от продолжительности собственно проращивания. Если солод готовят 240 дней в году, то при продолжительности 7 сут можно сделать примерно 34 загрузки. Если на 1 м² площади тока располагается 0,35 ц ячменя, то на 1750 м², общей площади 7 токов по 250 м², в 7 грядках по 87,5 ц поместилось

бы 612,5 ц ячменя. При 34 загрузках это соответствует производительности 20 825 ц ячменя.

Контроль температуры грядок токовой солодовни ведут термометрами, устанавливаемыми в разных точках грядки примерно на 2 см выше уровня пола. При этом следует отдавать предпочтение регистрации температуры в виде графика.

Токовая солодовня представляет собой самый естественный способ солодоращения, однако у нее имеются экономические недостатки. Из-за зависимости от температуры наружного воздуха и климатических условий возможности использования таких токов невелики, а их производительность существенно колеблется. Этот недостаток лишь частично компенсируется искусственным охлаждением. Потребность в площади довольно велика и составляет для 100 кг ячменя 3,2 м², что требует значительных затрат на строительные работы и ремонт сооружений. Высоки также производственные затраты. На токовой солодовне ворошение зерна необходимо проводить 12-16 раз, из-за чего требуется большое число квалифицированных рабочих. Производительность труда солодовщика при ворошении зависит от стадии солодоращения и составляет при ворошении влажной грядки 50 нем. ц/ч, молодой — 35 нем. ц/ч, схваченной грядки (включая встряхивание) 25 нем. ц/ч и всего — 200 нем. ц/чел, включая вспомогательные работы при выгрузке и перемещении гряды, мойке тока и т. д.

1.5.2. Пневматическая солодовня

Для всех пневматических систем солодоращения характерным является ведение процесса в высоком слое. Это возможно, если проращиваемый материал

охлаждается воздушным потоком, насыщенным влагой. Такое постоянное и достаточное охлаждение грядки без удаления при этом заметного количества влаги является важнейшей, но и труднейшей задачей пневматического солодоращения. При высоком слое проращиваемого материала с интенсивной энергией роста охлаждение требует значительного избытка воздуха. Другим важным требованием, предъявляемым к воздушному потоку, является поддержание желаемой влажности проращиваемого материала. Задача эта непростая, так как воздух в грядке нагревается и обладает способностью забирать влагу у проращиваемого материала. По этой причине в грядке не может происходить отпотевания. Кроме того, воздушный поток должен удалять образующийся при дыхании диоксид углерода и доставлять к материалу свежий воздух. Расход воздуха при этом невелик.

Каждая пневматическая солодорастильная установка состоит из двух частей: устройства для кондиционирования и аэрации и собственно солодорастильного аппарата.

1.5.2.1. Устройства для аэрации для всех пневматических систем солодоращения принципиально одинаковы. Для правильного функционирования солодорастильных установок решающее значение имеют их правильная конструкция и расчет. Аэрирующие устройства состоят из:

- элементов, служащих для подготовки воздуха, продуваемого через проращиваемый материал (температурирующие и увлажняющие установки);
- системы воздухопроводов, служащих для подвода свежего и отвода отработавшего воздуха;
- вентиляторов.

1.5.2.2. Устройства для очистки свежего воздуха желательно применять, если в зависимости от положения всасывающего отверстия возможно загрязнение воздуха пылью и микроорганизмами, что приводит к усиленному образованию на аспирационных установках биологической пленки. Специальную очистку воздуха применяют очень редко. Осуществляют ее путем промывки воздуха тонко распыленной водой наподобие увлажнительных установок.

1.5.2.3. Устройства для поддержания температуры используют для доведения температуры наружного воздуха до 10-16 °С, необходимой для проращивания. Наружный, а также отводимый из грядки и повторно используемый воздух очень редко соответствует требуемой области температур, в связи с чем зимой, а также при подаче в свежзамоченные грядки воздух должен подогреваться. Летом, в теплые весенние и осенние дни, а также при интенсивном росте материала наружный и рециркулирующий воздух может быть перегрет и требует охлаждения. В старых установках кондиционирование подаваемого воздуха скомбинировано с увлажнением. Из-за высокого водопотребления предусматривается разделение агрегатов для охлаждения и увлажнения.

Паровые радиаторы осушают подвданный воздух; поэтому они должны нагреваться сильнее, чем обычно (например, до 15-16 °С), поскольку при последующем насыщении воздуха путем распыления воды снова происходит охлаждение. Другая возможность нагревания воздуха состоит в использовании рециркуляционного воздуха. При этом воздух, выходящий из гряды, в зависимости от требуемой температуры смешивают со свежим

воздухом. В крупных установках этот тип кондиционирования воздуха хорошо себя зарекомендовал.

Охлаждение воздуха достигается или с помощью распыления холодной воды или благодаря собственной системе охлаждения, в которой используется рассол, ледяная вода (температурой 0,5 °С) или хладагенты, например, аммиак или фреон.

При охлаждении воздуха водой существуют две физические возможности:

- охлаждение вследствие испарения воды, возможное только в том случае, если охлаждаемый воздух не насыщен водяными парами;
- контактное охлаждение, то есть прямая теплопередача от охлаждаемого воздуха к воде.

Такое охлаждение тем эффективнее, чем больше степень распыления воды и продолжительность контакта воды с воздухом. При высоких наружных температурах водяного охлаждения уже недостаточно. Некоторое улучшение дает охлаждение воды, однако общепринятым средством в настоящее время является прямое охлаждение воздуха системами охлаждения. Если рассол в качестве хладагента в настоящее время применяют все реже, то гликоль или ледяную воду температурой 0,5-1 °С — все чаще. Прежде всего, применение ледяной воды помогает избежать появления пиков тока благодаря аккумулярованию холода. В настоящее время аммиаку отдается предпочтение по сравнению с фреоном (F22 вместо F12), так как с его помощью легко обнаруживаются неплотности в системе. Во избежание обледенения холодильника температура хладагента поддерживается около 0 °С. Система охлаждения должна быть рассчитана с учетом «пиков тепловыделения», возникающих в результате

дыхания грядки, а также температуры необходимого количества свежего воздуха и планируемого способа ведения грядки. В случае применения традиционных методов солодоращения необходимая производительность охладителя составляет около 6270 кДж (1500 ккал)/т · ч; современные методы (например, солодоращение с дифференцированным орошением и понижающимися температурами проращивания) благодаря более короткому циклу обработки в целом характеризуются пиками, которые следует рассчитывать с запасом около 50 %. Таким образом, производительность испарителя должна составлять для условий ФРГ 9600 кДж (2300 ккал)/т · ч, причем для некоторых систем эти величины могут быть и выше.

Как правило, системы охлаждения снабжены вентилятором, что позволяет осуществлять автоматизированное управление процессом проращивания.

1.5.2.4. Искусственное увлажнение воздуха необходимо, так как всегда существует риск высыхания прорастающего зерна, причины которого заключаются в следующем:

- движущийся с большой скоростью поток воздуха вызывает испарение поверхностной влаги и высушивание;
- поступающий к проращиваемому зерну воздух должен быть холоднее, чем грядка, а при прохождении через материал он нагревается и приобретает способность поглощать влагу; поэтому чем больше разность температур поступающего воздуха и прорастающего зерна, тем выше водопоглощающая способность воздуха и степень осушения проращиваемого материала;
- постоянный поток воздуха препятствует отпотеванию в зерне, так как большая часть водяных паров, образующихся

при дыхании проращиваемого материала, поглощается воздухом и отводится вместе с ним.

Для компенсации этих неизбежных потерь влаги в поток воздуха должна вводиться распыленная вода. Это искусственное избыточное увлажнение воздуха осуществляют с помощью распылительных форсунок. В старых установках их располагали в специальных увлажнительных башнях, а в новых (с собственными камерами кондиционирования) — в канале подачи воздуха перед проращиванием. Для увлажнения воздуха применяют также ротационные форсунки.

С учетом короткого пути воздуха, интенсивно увлажненного форсунками или дисковыми распылителями, следует обращать внимание на то, чтобы капли воды не попали через сушильную решетку на проращиваемый материал. Существует опасность прорастания в этой зоне корешков зародыша через прорези решетки и блокирования тем самым прохода воздуха, что приводит к частичному нагреванию гряды. *Увлажнительные башни* располагают непосредственно перед солодорастильным аппаратом, чтобы воздух, идущий от вентилятора, поступал в солодорастильный аппарат наиболее коротким путем без нагревания или осушения. Эти башни должны быть легкодоступными и снабжены необходимыми устройствами для очистки распылительных форсунок и стен башни. Увлажнение воздуха происходит в башнях с помощью распылительных форсунок, в которых вода в большинстве случаев подается по узкому отверстию форсунки на отражательный элемент и таким образом распыляется. Образовавшееся облако водяной пыли захватывается проходящим воздухом. Важная предпосылка успешного распыления — чистота

форсунок, зависящая от степени водоочистки. Применение жесткой воды, содержащей карбонаты, так же проблематично, как и воды, получаемой в водосборниках из увлажнительных башен и применяемой повторно.

В настоящее время разработаны сравнительно простые, высокоэффективные и легко очищаемые конструкции форсунок. Степень распыления тем выше, чем меньше отверстие форсунки и чем больше давление, под которым подается в нее вода (обычно 0,2-0,3 МПа). При слишком низком давлении не достигается нужная степень распыления воды, и для повышения давления следует устанавливать специальный насос. Большое значение имеет и размещение форсунок в увлажняемом пространстве: их следует располагать так, чтобы водяное облако не попадало на стены и чтобы рассеивающиеся конусы воды не пересекались (в таких случаях вода используется не оптимально). Количество форсунок зависит от расхода воздуха, конструкции и размера помещений. Расход воды на одну форсунку составляет при нормальном режиме 1-1,5 л/мин.

С точки зрения наиболее экономного расходования воды должны работать столько форсунок, сколько требуется для получения заданной температуры воздуха. Чтобы уменьшить значительный расход воды, распыленную ее часть, которая собирается на полу помещения для увлажнения, направляют в сборник («приямок») для воды, рассчитанный с запасом. Его вместимость должна примерно соответствовать общему расходу воды на 3 ч производства. Поддержание сборника для воды в чистоте имеет большое значение, так как в противном случае вся увлажнительная установка покрывается слизью.

Высокую степень распыления воды обеспечивает турбораспылитель. В закрытом увлажнительном барабане смонтированы вентилятор, устройство для распыления воды и электродвигатель в водонепроницаемом кожухе. Распылитель устанавливают непосредственно у входного отверстия для воздуха аппаратов для проращивания.

Рециркуляционный воздух, отводимый из солодорастильного аппарата, характеризуется высокой степенью насыщения. Если он охлаждается холодильной системой (холодильником для рециркуляционного воздуха), происходит его полное насыщение, даже частичное выделение влаги из воздуха. Таким образом, для достижения равномерной высокой влажности подаваемого воздуха применение рециркуляционного воздуха весьма эффективно. Дополнительное увлажнение с помощью турбораспылителя или нескольких рядов форсунок необходимо, так как прохождение воздуха по каналам зачастую сопровождается его осушением.

Вызванные охлаждающим воздухом потери влаги в прорастающем зерне компенсируются дополнительными опрыскиваниями или увлажнением изначально более высокой влажности проращиваемого зерна (например, 50 % вместо 47 %), но это может привести к дополнительному образованию «гусаров» и слишком высоким потерям солода.

Потребность в воде изменяется в течение всего периода проращивания в зависимости от заданных условий (климат, температура воды, ведение грядки, получение рециркуляционной воды, прямое контактное охлаждение) в очень широких пределах. Расход воды при проращивании в течение 7-ми сут. (увлажнение в течение 158 ч) включает расход её на:

- охлаждение (контактное или испарением) только свежей воды — $30 \text{ м}^3/\text{т}$;
- использование рециркуляционной воды в зависимости от добавления свежей воды — $2,5\text{--}5 \text{ м}^3/\text{т}$;
- насыщение воздуха турбораспылителем — $0,5 \text{ м}^3/\text{т}$;
- последующее увлажнение непосредственно охлаждаемого воздуха в зависимости от добавления свежего воздуха — $0,1\text{--}0,5 \text{ м}^3/\text{т}$.

При прочих равных условиях расход холодной воды при использовании противоточного конденсатора холодильного агрегата составляет $30 \text{ м}^3/\text{т}$, при наличии установки рециркуляционного охлаждения или испарительного конденсатора — $3 \text{ м}^3/\text{т}$ и может быть равен нулю при применении воздушного конденсатора. Для подогрева замочной воды можно использовать комбинацию из воздушного конденсатора, установленного на входе свежего воздуха сушилки, и двухтрубного конденсатора.

1.5.2.5. Система воздухопроводов должна быть выполнена таким образом, чтобы исключить изменение температуры и влажности воздуха. Свежий воздух подводят к установке только снаружи, причем канал для свежего воздуха рассчитывают с запасом. По каналу для рециркуляционного воздуха к вентилятору подводится воздух, выходящий из солодорастильного аппарата. Такой канал может быть отдельным для каждой секции или общим для нескольких солодорастильных аппаратов ящичного типа. В канале для сбора рециркуляционного воздуха создается резерв для бедного кислородом, увлажненного и темперированного воздуха, который с успехом может применяться для ведения грядок. Для понижения температуры рециркуляционного воздуха

используют системы распылительных форсунок или отдельный холодильник для рециркуляционного воздуха. Канал для отвода воздуха проектируют так, чтобы обеспечить вывод воздуха без дополнительных сопротивлений.

Все воздуховоды должны быть по возможности короткими, прямыми, гладкими внутри, удобными для осмотра и чистки, а также иметь постоянное сечение соответствующего размера.

Управляющая арматура (клапаны свежего, обратного и отводимого воздуха или соответствующие жалюзи) должны обеспечивать заданное дозирование отдельных порций воздуха. Блокирующий шибер в открытом состоянии не должен менять свойства воздуха, а в случае необходимости он должен обеспечивать полное прекращение подачи воздуха.

1.5.2.6. Вентиляторы. Перемещение воздуха основано на разности давлений. Для этих целей применяются напорные и всасывающие вентиляторы, которые конструктивно могут быть выполнены как центробежные или осевые вентиляторы. С технологической точки зрения предпочтительнее осевые вентиляторы, потому что в этом случае воздух благодаря сопротивлению грядки равномерно распределяется снизу проращиваемого материала, и во всех точках под грядкой создается одинаковое избыточное давление. В системах всасывания воздуха, напротив, может возникнуть ситуация, когда отдельные партии свежепроросшего солода аэрируются интенсивнее других участков.

Представление о производительности вентилятора, состоянии солодорастильного аппарата, регулировочном положении воздушных шиберов и, наконец, о проницаемости проращиваемого материала,

к примеру, до или после ворошения дает измерение разности давления между верхним и нижним слоем грядки.

Количество воздуха для охлаждения и вентиляции проращиваемого зерна по технологическим и экономическим соображениям должно быть возможно меньше и соответствовать той или иной стадии роста. Чем больше воздуха, тем меньше разница температур между поступающим воздухом и проращиваемым зерном, но тем больше потребление электроэнергии. Кроме того, слишком сильная вентиляция может приводить к ускоренному высушиванию зерна. Очень важно обеспечить равномерность вентиляции, поскольку при ее неоднородности изменяются влажность и температура проращиваемого материала, нарушается ход ферментативных реакций. Вентиляцию проводят или периодически, или непрерывно. Непрерывная вентиляция более предпочтительна, так как при этом улучшается равномерность формирования температур в грядке и меньше меняется влажность и нарушается рост. В зависимости от стадии проращивания производительность вентилятора составляет 300-700 м³/т в час. При периодической вентиляции требуется более высокий расход воздуха, так как охлаждение рядки должно быть достигнуто за более короткий срок. Требуемая производительность вентилятора составляет при этом 1000-1500 м³/т в час на грядку.

1.5.2.7. Автоматическое регулирование температуры. Внедрение искусственного охлаждения позволило осуществлять термостатическое управление температурой проращиваемого зерна соответствующим регулированием температуры подаваемого воздуха, причем соотношение между свежим и рециркуляционным

воздухом задается вручную заранее. Соотношение температур подаваемого воздуха и проращиваемого материала зависит также и от количества подаваемого воздуха, то есть от производительности вентилятора. Путем установки разности температур, например 2 °С, возможно регулировать частоту вращения вентилятора. Если разность температур увеличивается, то вентилятор переключают на более высокую частоту вращения; а если уменьшается — на более низкую. Зимой, естественно, использование холодильной установки излишне, что позволяет экономить электроэнергию.

1.5.2.8. Энергопотребление пневматических установок зависит от возможностей аэрации и охлаждения, от высоты проращиваемого слоя (чем выше удельная нагрузка, тем больше давление и тем выше энергозатраты), от сечения каналов и т. д. Потребность в энергии при вентиляции солодорастильных аппаратов ящичного типа рассчитывается следующим образом. При 150 ч проращивания необходимы 136 ч аэрации, из которых 100 ч — с низким числом оборотов и 36 ч — с высоким, так что при КПД двигателя $\phi = 0,85$ требуется солодорастильный аппарат на 80 т свежепросоженного солода с мощностью двигателя 2,2 и 9 кВтч. Таким образом потребность в электроэнергии составляет в среднем 5,8 кВтч/т ячменя или 7,2 кВтч/т солода.

Потребность в электроэнергии для холодильной установки в среднем при 18 ч работы и 330 рабочих днях в год с КПД 80 % составляет 35 кВт · ч/т ячменя или 44 кВт · ч/т солода. Экономия возможна однократно путем целенаправленного насыщения CO₂ или путем регулирования смеси «свежий воздух-рециркуляционный воздух», если позволяет наружная

температура воздуха. Высокие температуры конденсации (например, при конденсации воздуха в летние месяцы производства) могут привести к повышенному потреблению электроэнергии. Снизить температуру конденсации и при этом предоставить в распоряжение замочную воду требуемой температуры позволяет последовательно подсоединенный двухтрубный конденсатор.

1.5.3. Оборудование для проращивания в пневматических солодовнях

Существует много пневматических солодорастильных аппаратов, среди которых выделяют два основных типа — барабанный и ящичный.

1.5.3.1. Солодовня барабанного типа. Среди различных вариантов конструкций на рынке смогли утвердиться в основном два — барабан системы *Galland* и барабан для проращивания ящичного типа (барабанный солодорастильный аппарат с плоским ситом).

Барабан системы *Galland*, аналогичный солодорастильному аппарату с ситчатыми трубами, впервые был применен в 1880 г. и в своей первоначальной форме применяется вплоть до настоящего времени. Он представляет собой цилиндр из ковального металла, закрытый с обеих сторон днищами и опирающийся на четыре опорных ролика. В днищах предусмотрены воздухопроводы, через которые подводится и отводится вентиляционный воздух. Поток воздуха поступает сначала в отделенную от основного объема воздушную камеру, от которой по всей длине барабана проходят ситчатые полутрубы. В небольших конструкциях

они полукруглые, а в более крупных - круглые. В центре пространства барабана расположена широкая центральная ситчатая груба, служащая для отвода воздуха и присоединенная к отводному воздухопроводу через регулирующий шибер. При аэрации прорастающего зерна (прежде осуществлявшейся исключительно с помощью вытяжных вентиляторов, а в настоящее время — нагнетательными) воздух поступает через воздушную камеру в продольные каналы, проходит через проращиваемый материал и отводится через центральную трубу. При этом каждый воздушный канал, который при вращении барабана поднимется вверх, запирается с помощью так называемого маятникового шибера. Поскольку барабан заполняют примерно лишь на две трети, иначе воздух проходил бы преимущественно в верхних слоях свежепросожденного солода, что неизбежно приводило бы к неравномерности аэрации.

Ворошение проращиваемого материала осуществляется за счет медленного вращения барабана с помощью червячной шестерни, находящейся в зацеплении с червяком и размещенной на одном из бандажей барабана. Один оборот барабана занимает 25-45 мин. Для ворошения проращиваемого материала используется меньшая скорость, при заполнении и разгрузке — большая. При вращении поверхность прорастающего зерна приобретает наклонное положение, и проращиваемый материал медленно сползает, благодаря чему ворошение происходит очень аккуратно и равномерно. Вместимость барабана рассматриваемой конструкции — максимум 15 т, усовершенствованных барабанов — до 25 т.

Наиболее широкое применение нашла коллекторная аэрация с вытяжным вентилятором. Недостатком этой централизованной

аэрации является то, что воздух направляется после самой холодной грядки. При температуре проращиваемого зерна 12 °С это соответствует температуре подаваемого воздуха 10 °С. Для прорастающего зерна в стадии развития благодаря этой низкой температуре воздуха требуется сравнительно небольшое его количество, однако при нагревании этого воздуха с 10 до 15 или даже до 18 °С его относительная влажность снижается со 100 до 80 и 60 % соответственно с сильной потерей влаги свежепросожденным солодом. Высыхание зерна компенсируют разбрызгиванием воды. Вытяжная вентиляция также несвободна от недостатков. Разрежение на входе воздуха составляет примерно 49 Па (5 мм вод. ст.), а на выходе — до 392 Па (40 мм вод. ст.). Неравномерность аэрации обусловлена изменением толщины слоя зерна при вращении барабана. Кроме того, со стороны выхода, к которой вентилятор расположен ближе, степень аэрации всегда больше, чем на входе. Прорастающее зерно здесь всегда холоднее и сильнее осушается. Для компенсации неравномерности указанных процессов, обусловленной конструктивными особенностями, свободный проход на выходном конце центральной трубы уменьшают по сравнению с проходом на входе путем сокращения числа отверстий.

Воздух определенной температуры и влажности подают к отдельным барабанам от центрального кондиционера по заложенному в стене короткому и прямому главному воздушному каналу с ответвлениями. Неизбежные изменения направления воздуха приводят к его осушению.

При индивидуальной подготовке воздуха и прямом охлаждении применяют упрошенные установки. В некоторых случаях

бывает достаточно канала для рециркуляционного воздуха в фундаменте барабана или в ином месте. При групповой аэрации барабанов от одного вентилятора такой канал, как правило, отсутствует, хотя осуществить связь между каналами свежего и отводимого воздуха можно и без значительных капитальных затрат. При вентиляции под давлением оба вида воздуха (свежий и рециркуляционный) смешиваются перед вентилятором в двухколенной трубе. На нагнетательной стороне вентилятора подключен испаритель холодной установки, а воздух на коротком пути к барабану увлажняется с помощью форсунок. Регулирование количества воздуха осуществляется изменением частоты вращения вентилятора и дросселированием шиберов на выходе воздуха.

При ведении грядок в барабане системы *Galland* создаются такие же условия проращивания, что и в токовой солововне или других пневматических установках (некоторые отличия обусловлены особенностями барабана). Для ведения грядки в барабане важны температура подводимого и отводимого воздуха, продолжительность ворошения или вращения барабана и время покоя. При коллекторной аэрации температура подаваемого воздуха составляет около 10°C и она одинакова для всех барабанов. Этот воздух должен иметь возможность проникать в пространство барабана без дополнительного сопротивления (дроссельных заслонок). Регулируется количество воздуха исключительно с помощью запорной задвижки на стороне выхода воздуха.

Продолжительность вращения барабана и ворошения подбирают в зависимости от стадии развития грядки. Поскольку из-за не вполне оптимальных условий аэрации на различной высоте

проращиваемого материала может установиться разность температур, именно в период самого интенсивного роста ворошение следует проводить чаще.

При традиционном ведении грядки с использованием коллекторной аэрации принцип работы в барабане заключается в следующем.

Выпуск из замочного аппарата влажного или (желательно) сухого материал осуществляется в три этапа. Загрузка осуществляется через люки сначала на $1/3$ так, чтобы путем поворота барабана на $1\frac{1}{2}$ —2 оборота можно было равномерно распределить замоченное зерно. Прежде растительные грядки в солорастильном аппарате барабанного типа выпускали из замочного аппарата при достижении полной степени замачивания 46-47 %, чтобы лучше справляться с последующей потерей влаги. Затем вращение барабана сопровождалось полной аэрацией неувлажненным воздухом до тех пор, пока примерно через 4 ч (летом) и 6-8 ч (зимой) не происходило подсушивание грядки. В заключение подводили кондиционированный воздух.

В последнее время процесс начинают при более низкой влажности (38-42 %, после 26 или 52 ч замачивания с воздушными паузами), а поглощение поверхностной воды происходит без аэрации, сопровождаясь периодическим удалением диоксида углерода (каждый час по 10 мин). Для обсыхания растительной грядки барабан вращают или постоянно (при влажности 38 %), или (при влажности 42 %) в течение 2 ч через каждые 3 ч. Как только температура грядки превысит температуру замачивания примерно на 2°C , подводят кондиционированный воздух. Эта технология более предпочтительна, так как здесь не происходит охлаждения грядки, вызванного испарением. При

старом способе ведения грядки в конце подсушивания достаточно частоты вращения барабана 1 об/ч при остановке на 4-6 ч. Температура отводимого воздуха около 12 °С, и для ее поддержания воздушный шибер следует немного открывать. Продолжительная фаза покоя и обусловленное ею нагревание до замачивания способствуют равномерному проращению.

На 2-е сут проращивания частоту вращения барабана корректируют в соответствии с проявлениями жизнедеятельности зерна. Если замачивание проводят традиционным способом (во влажном состоянии и без проростков), описанный выше процесс изменяют следующим образом: при температуре отводимого воздуха 12-13 °С каждые 3 ч вращают барабан в течение 1 ч. Температура отводимого воздуха 12-13 °С поддерживается соответствующим регулированием шибера.

На третий день проращивания продолжительность вращения составляет примерно 2 ч, а период покоя длится около 3 ч. В зависимости от условий проращивания температура отводимого воздуха составляет 13-14 °С. В теплое время года может возникнуть необходимость вращать барабан 1 ч уже после 2-часовой паузы. Именно в стадии самого интенсивного роста следует исключить сильное нагревание гряды и тем самым формирование перепадов температур в грядке при продолжительных остановках барабана. Любое обусловленное этим чрезмерное нагревание связано с нежелательным и опасным явлением — «схватыванием» грядки. Чем выше наружная температура, тем короче должна быть пауза. На этой стадии уже начинает проявляться действие на влажность гряды большого перепада температур между отводимым и подводимым воздухом, и поэтому примерно

после 60 ч проращивания целесообразно провести первое орошение. Его можно осуществить во время вращения барабана шлангом с разбрызгивателем (при этом излишек воды стекает через люк). На стороне выхода воздуха орошение проводят неоднократно и более интенсивно. При коротком замачивании, повышенных наружных температурах и т. д. для оптимального развития гряды целесообразно проводить двухкратное орошение (через 48 и 60 ч).

На 4-е сут проращивания продолжительность вращения барабана составляет 1-2 ч при паузе в 2-3 ч. Температура отводимого воздуха поддерживается на уровне 15-16 °С. Такое ведение грядки способствует равномерному росту корешков. Для поддержания ростков в хорошем состоянии в стандартных барабанах системы *Galland* требуется двухкратное интенсивное орошение, лучше всего при первом обороте барабана.

На 5-е сут проращивания пик роста уже пройден, и постепенно паузы удлиняют, чтобы стимулировать развитие корешков. Барабан вращают 2 ч, после чего следует 4-часовая пауза. Температура отводимого воздуха в зависимости от растворимости ячменя составляет 16-18 °С. В эти сутки также требуется двухкратное орошение. Вследствие интенсивного перемешивания проращиваемого материала с добавляемой водой опасаться обычных недостатков интенсивного опрыскивания не следует.

В течение 6 сут. проращивания барабан попеременно вращают 2 ч с остановками на 5-6 ч. Температура отводимого воздуха составляет 18-20 °С. В зависимости от влажности и степени растворения проращиваемого материала может потребоваться повторное опрыскивание, так как вследствие большого перепада

температур между отводимым и подводимым воздухом грядки может терять влагу.

На 7-е сут требуется уже двухчасовое ворошение каждые 10-12 ч. Температура отводимого воздуха составляет 18-20 °С. Как правило, при условии правильного ведения грядки недели проращивания бывает достаточно. Для уменьшения нагрузки на сушилку в последние 6-12 ч перед выгрузкой грядки барабан непрерывно вращают и неоднократно вентилируют неувлажненным воздухом.

Приведенную схему можно менять в зависимости от условий года уборки урожая и растворимости ячменя, а также от параметров того или иного растительного аппарата.

Если материал равномерно пророс уже во время замачивания, что, например, происходит после замачивания с воздушными паузами (степень замачивания около 42 %), то к интенсивному ворошению следует приступать раньше (обычно его «смещают» на одни сутки). Орошение сначала должно быть направлено на достижение желаемой максимальной влажности; если все зерна равномерно развиваются, то первое орошение проводят уже через 24 ч после выгрузки из замочного аппарата. Второе интенсивное орошение необходимо провести примерно через 12 ч, повысив влажность до 46-48 %, и впоследствии эту влажность проращиваемого материала поддерживают.

Барабан разгружают через раздвижные дверцы в воронкообразный бункер, через который свежепросошенный солод подают на вибролоток, ленточный конвейер или на редлер (реже — на всасывающий патрубков пневмотранспортера).

При правильном ведении грядки в солодорастильном аппарате барабанного типа свежепросошенный солод имеет свежий запах и (благодаря незначительному

истиранию) хорошую сохранность корешков. В процессе проращивания ведут постоянное наблюдение за ростками корешка и листка, а также за ходом растворения. На развитии корешка благотворно сказываются длительные периоды покоя, а на развитии листка, наоборот, частое или продолжительное вращение барабана в сочетании с орошением. Растворению способствует более длительные остановки барабана после 6-х сут солодоращения, обычно сопровождаемые более теплым ведением грядки.

По сравнению с токовой солодовней солодоращение в аппарате барабанного типа отличаются большей схематичностью. Преимущество барабанного солодоращения заключается в постоянстве размеров и возможности управления условиями проращивания. При условии поддержания необходимой температуры подаваемого воздуха в теплое время года холодильными агрегатами температурные режимы проращивания можно привести в соответствие всем требованиям. Наличие аэрационной установки с нагнетательным вентилятором и холодильным агрегатом для каждого барабана позволяет вести грядки в режиме падающих температур проращивания. В барабане довольно трудно поддерживать влажность проращиваемого материала при наличии централизованной системы аэрации и вытяжного вентилятора вследствие большой разницы температур солода и поступающего воздуха. Определенную роль играет и сложная система воздуховодов, однако благодаря возможности глубокого ворошения в барабане можно осуществлять орошение проращиваемого солода подводимой водой без негативных последствий (даже на поздней стадии проращивания). В барабане можно также проводить специальное повторное

замачивание (с учетом статических характеристик барабан через 60-70 ч проращивания заполняют водой на $1/4-2/7$ и, вращая барабан, подвергают материал равномерному воздействию водяной бани).

В грядке присутствует мало диоксида углерода (около 1 %) — лишь при длительной остановке вращения в нижних слоях скапливается до 7 % CO_2 . При индивидуальной (и нагнетательной) вентиляции рециркуляционным воздухом в полностью герметичной системе содержание CO_2 можно повысить до 10-15 %.

Условием надежной эксплуатации барабанной установки является надлежащая чистка и уход. Чистку центральной трубы и боковых каналов следует проводить сразу же после разгрузки барабана, обеспечивая высвобождение ситовых отверстий. В противном случае вряд ли удастся избежать неравномерности температур, а при известных условиях и нагревания грядки. Дверцы центральной трубы должны быть хорошо закрыты (если они откроются во время работы барабана, проращиваемый материал попадет в центральную трубу и равномерная аэрация грядки станет невозможной). Также необходимо очищать каналы подводимого и отводимого воздуха (канал отводимого воздуха засоряется ростками и оболочками зерна). При мойке наружной стенки барабана вода не должна попадать в масляные картеры червячной передачи. Механические узлы барабана требуют надлежащего технического обслуживания.

По своей рентабельности солодоращение в барабане превосходит токовую солодовню благодаря меньшей требуемой площади, независимости от погодных условий, простоте наблюдения и контроля и снижения трудозатрат. Индивидуальная вентиляция и использование

холодильных агрегатов позволяет автоматически регулировать температуру грядки. Водо- и энергопотребление зависят от конструкции установки.

1.5.3.2. Солодорастильный барабан с плоским днищем представляет собой комбинацию барабанной установки и солодорастильного ящика системы *Saladin* (см. раздел 1.5.3.3). Проращиваемое зерно размещается внутри барабана на горизонтальном плоском сите. В новой конструкции предусмотрены спирально приваренные стальные ленты шириной 12-15 см, с помощью которых при вращении барабана готовый свежепрососший солод перемещается к выгрузному отверстию (скорость — 6,5 мин на процесс). Для ворошения барабан вращается медленнее, со скоростью 13-20 мин/процесс.

При проращивании в солодорастильных барабанах с плоским днищем используются в основном нагнетающие вентиляторы, которые подают охлажденный и увлажненный воздух в переднюю воздушную камеру на входной стороне аппарата. Отсюда по сегменту, образуемому ситом и стенкой барабана, воздух поступает под сито, равномерно распределяется в слое прорастающего зерна и выходит через воздушную камеру, находящуюся у противоположного днища барабана. Каждый барабан снабжается собственным вентилятором с увлажняющим устройством, а современные установки — и холодильной системой. Ворошение в барабане с плоским днищем происходит, как и в барабане конструкции *Galland*, вследствие медленного вращения, но систему вентиляции при этом отключают. Температура подаваемого воздуха на 2 °C ниже температуры проращиваемого зерна; ворошение проводят только 2 раза в сут. (в стадиях интенсивного

роста или при повышении влажности продукта количество ворошений увеличивают до 3-4 раз в сут). Ворошение осуществляется каждый час (около 3-4 об.). Особенность проращивания в барабанах с плоским днищем состоит в том, что зерно не может продуваться воздухом во время ворошения. Из-за этого происходит повышение температуры, которое должно устраняться путем усиленного охлаждения зерна, что приводит к его осушению. После ворошения материал лежит на сите не горизонтально, а под определенным углом. Для достижения равномерной высоты слоя материала барабан после каждого ворошения движется до тех пор, пока поверхность слоя зерна не станет параллельной сити. Затем барабан возвращается в обратном направлении в исходное положение.

Проращиваемый материал располагается ровным, однородным слоем одинаковой высоты, благодаря чему аэрация происходит более равномерно, чем в барабане системы *Galland*. Трассы каналов короткие и доступные, сечение каналов больше. По этой причине, а также для сокращения капитальных затрат солодорастильные барабаны с плоским днищем нередко изготавливают в виде барабанов для двух солодорастильных грядок.

В барабанах с плоским ситом обеспечиваются более благоприятные условия проращивания, чем в других барабанах. Дополнительное повышение влажности проращиваемого материала легко осуществить путем опрыскивания, так как при ворошении достигается хорошее перемешивание. Наличие доступных для осмотра воздухопроводов обеспечивает проведение полной герметизации установки, поэтому она допускает как проведение углекислотного отдыха, так и необходимое обогащение воздуха диоксидом углерода

при длительном снабжении рециркуляционным воздухом. Солодорастильный барабан с плоским днищем постоянно вентилируется (за исключением времени вращения, когда образуется большое количество CO_2 , которая, однако, в процессе последующей вентиляции снова быстро удаляется). При нормальной высоте грядки 1 м избыточное давление под ситом составляет 50-60 мм вод. ст. а над грядкой — около 20 мм вод. ст. Такой солодорастильный барабан позволяет приспосабливаться к различным условиям проращивания, ворошение материала в нем — более совершенное, однако вследствие ограниченной вместимости (около 25 т) он не находит широкого применения. Чистка барабана и техническое обслуживание механических частей в нем проще, чем у барабана системы *Galland*.

1.53.3. Ящичная солодовня — один из многих видов пневматических солодовен, получивший широкое распространение (особенно в последние 25 лет). Такая система получила название по имени ее изобретателя — *Saladin*. Современные солодовни — типа «передвижная грядка» и башенного типа — основаны на принципе ящичной солодовни.

Солодорастильный аппарат ящичного типа — открытый, в противоположность барабану, и стационарный. Ящик имеет четырехугольную форму и сверху открыт. Проращиваемый материал располагается на несущем сите слоем высотой около 1 м. Объем прорастающего зерна при проращивании расширяться в стороны, как у токовой грядки, не может. Вентиляция в старых установках осуществляется обычно при помощи вытяжных вентиляторов периодического действия, соединенных с общей увлажнительной установкой. В современных солодорастильных ящиках

системы *Saladin* каждая грядка имеет свой нагнетающий вентилятор с агрегатом для увлажнения и охлаждения. Вентиляция проводится непрерывно. Грядка в солодорастильной установке системы *Saladin* легкодоступна для осмотра и контроля; благодаря равномерности слоя обеспечивается одинаковая аэрация, однако процессы, протекающие в грядке, зависят от условий помещения для проращивания.

Помещение должно соответствовать условиям проращивания зерна. Благодаря правильной изоляции кровли и стен должны быть исключены не только потери тепла и колебания температуры, но и соответствующее вредное воздействие конденсационной воды. Размеры солодовен должны соответствовать габаритам применяемых солодорастильных ящиков. При засыпи около 30 т для обеспечения равномерного подвода воздуха требуется высота над днищем 3,7-4 м. Кровля помещения для проращивания должна быть гладкой, позволяющей обеспечить спокойное, без помех, движение воздуха. Изоляция кровли защищает от образования конденсата и плесени. Иногда предусматривают обогрев кровли.

В помещении для проращивания можно разместить несколько ящиков, но индивидуальное размещение имеет то преимущество, что при герметичных шиберах возможно насыщение воздуха над прорастающим зерном CO_2 . Солодорастильный аппарат ящичного типа имеет прямоугольную форму. Отношение длины к ширине выбирается с учетом обеспечения равномерной вентиляции и может составлять от 4-8 : 1. Очень узкие и длинные ящики трудно равномерно вентилировать, так как наиболее удаленные от места ввода кондиционированного воздуха участки прорастающего зерна снабжать воздухом со 100 %-ной относительной

влажностью довольно затруднительно. Этот недостаток в отдельных конструкциях устраняют путем уменьшения высоты пространства под ситами по длине ящика.

В зависимости от высоты загрузки боковые стенки ящика возвышаются над ситами на 1-1.5 м; их изготавливают кирпичными или железобетонными. С внутренней стороны они должны быть совершенно гладкими и ровными во избежание обламывания ростков и образования комков свежепроросшего солода (для облегчения чистки стенки зачастую облицовывают нержавеющей сталью). На внутренней стороне ящика под направляющими рельсами монтируют кулачковые или зубчатые штанги, обеспечивающие движение каретки ворошителя вперед. Торцовые стенки (одинаковой высоты с боковыми) имеют на внутренней стороне полукруглые выемки, соответствующие диаметру шнеков ворошителя, позволяющие захватывать при ворошении проращиваемый материал и в концах ящика. При автоматической разгрузке торцовые стенки изготавливают из стального листа и подвижными.

Поверхность для размещения проращиваемого материала, называемая ситом, располагается на высоте 0,4-2,5 м и более над днищем солодорастильного аппарата ящичного типа. Обычно она определяется размерами ящика, доступностью и простотой очистки поверхности сита снизу. Ситчатое днище из оцинкованных стальных листов разделяется на удобные для снятия секции размером около 1 м², которые имеют щелеобразные (1,8-2,0 X 20 мм) отверстия для пропускания подаваемого вентилятором воздуха. Суммарное живое сечение отверстий составляет 20 % общей площади рабочей поверхности. Отверстия должны быть

всегда свободными и располагаться перпендикулярно направлению движения ворошителя. В этом случае резиновый скребок ворошителя эффективно очищает их от проросших зерен и ростков. После каждой разгрузки ящика проводят тщательную механическую очистку поверхности сита (рекомендуется промывка водой под высоким давлением). Частичное засорение отверстий препятствует равномерной аэрации прорастающего зерна. Днище ящика должно иметь достаточный уклон для быстрого стока воды.

Загрузка зерном ящика для проращивания составляет 300-500 кг/м², однако в некоторых новых конструкциях может быть существенно больше. Указанное количество соответствует высоте слоя свежепроросшего солода 0,7-1,25 м. Высота слоя замоченного зерна — 0,5-0,85 м. При проектировании ящика следует учитывать пространство для увеличения объема плюс пространство, необходимое для ворошителя.

Загрузка зерном ящика для проращивания составляет 300-500 кг/м², однако в некоторых новых конструкциях может быть существенно больше. Указанное количество соответствует высоте слоя свежепроросшего солода 0,7-1,25 м. Высота слоя замоченного зерна — 0,5-0,85 м. При проектировании ящика следует учитывать пространство для увеличения объема плюс пространство, необходимое для ворошителя.

Обычно используют шнековый ворошитель, состоящий из каретки, перемещающейся на роликах по направляющим, причем движение вперед осуществляется с помощью привода в виде зубчатого колеса и кулачковой штанги. По ширине каретки ворошителя устанавливают в зависимости от размеров ящика от 3 до 15 вертикальных шнеков. Во избежание

разрушения слоя зерна смежные шнеки вращаются в противоположных направлениях, что приводит к образованию характерной «грядки». Благодаря вращению и в зависимости от размера и шага спирали шнека проращиваемый материал поднимается, разрыхляется и до некоторой степени переворачивается. Для увеличения эффекта переворачивания и сохранения корешков проростков шнеки могут иметь сплошные витки, ленточные витки и быть комбинированными: нижняя часть со сплошными витками, а верхняя — с ленточными. С помощью шнекового ворошителя достигается хорошее разрыхляющее действие — за один проход степень разрыхления может составить в зависимости от стадии прорастания 10-15%. Эффект ворошения, напротив, меньше — чтобы переместить зерна из самых нижних слоев вверх, требуется около четырех проходов ворошителя.

В целях выравнивания поверхности грядки и предотвращения непрорастания зерен на уровне поверхности грядки устанавливают выравниватель. Конструктивно он представляет собой U-образный или полукруглый металлический профиль, а при большем диаметре шнека его выполняют в виде двойного стержня. В нижней части ворошителя смонтирован резиновый скребок для очистки прорезей в ситчатом днище.

Перемещение каретки ворошителя производится электроприводом по зубчатой штанге со скоростью 0,3-0,6 м/мин, зависящей от частоты вращения шнеков во избежание излишнего обламывания ростков. Нормальная частота вращения при минимальной скорости перемещения 0,3-0,4 м/мин составляет около 8 об/мин. Большое число оборотов (24 об/мин) применяют в начале проращивания или при легком схватывании грядки в целях

интенсивного перемешивания воды, подводимой через форсунки, с проращиваемым материалом. Перемещение каретки ворошителя производится электроприводом по зубчатой штанге со скоростью 0,3-0,6 м/мин, зависящей от частоты вращения шнеков во избежание излишнего обламывания ростков. Нормальная частота вращения при минимальной скорости перемещения 0,3-0,4 м/мин составляет 7,5 об/мин. Большое число оборотов (24 об/мин) применяют в начале проращивания или при легком схватывании грядки в целях интенсивного перемешивания воды, подводимой через форсунки, с проращиваемым материалом. Опрыскивание ящиков осуществляется через трубу с распылительными форсунками, монтируемую с обеих сторон ящика. Радиус распыления воды при этом захватывает ворошитель так, что происходит хорошее смешивание воды с материалом. При проходе ворошителя влажность в среднем составляет 3 %, причем следует учитывать перемещение ворошителя, число оборотов спирали и температуру воды

Еще одним видом ящичного ворошителя является лопастной ворошитель, который сходен с ворошителем сушилки. За один проход он позволяет полностью перевернуть материал, хотя рыхлительный эффект у него меньше, чем у шнекового ворошителя. Существенное улучшение эффекта перемешивания и ворошения обеспечивается повышением влажности проращиваемого материала в результате опрыскивания. Лопастной ворошитель дороже и занимает больше места, чем обычный шнековый, в связи с чем на несколько солодорастильных ящиков предусматривается один ворошитель и приходится перемещать его от одного ящика к другому, что весьма редко встречается

при использовании шнековых ворошителей и часто — при использовании съемной тележки. Старые лопастные ворошители по причинам надежности используют только при низкой высоте слоя проращиваемого зерна; в настоящее время современные конструкции таких ворошителей позволяют обрабатывать 500 кг ячменя или свежепоросшего солода/м².

Ворошитель (прежде всего шнековый) конструируют так, чтобы максимально сохранить материал, прежде всего ограничив повреждения зародышевых корешков. В первые дни проращивания ворошение проводят дважды, в последние — не чаще одного раза в сутки. Вентиляцию во время ворошения рекомендуют прекращать, что связано с повышением температуры при ворошении.

Количество солодорастильных ящиков прежде определяли по числу суток проращивания, но в настоящее время при сокращенной продолжительности проращивания этот принцип нарушается.

Вместимость ящиков — от 5 до 150 т; в некоторых случаях один аппарат может вмещать до 300 т материала. Солодорастильные аппараты ящичного типа системы *Saladin* среди сравнимых солодорастильных аппаратов характеризуются наибольшей загрузкой зерна на единицу площади. Большое значение имеет продолжительность загрузки и выгрузки солодорастильного аппарата, поскольку она позволяет сократить продолжительность проращивания. Преимущества солодорастильного ящика возрастают с увеличением его вместимости.

Вентиляция солодорастильных ящиков осуществляется увлажненным потоком воздуха с постоянной температурой. В зависимости от года изготовления той или иной установки используются различные системы вентиляции.

Вследствие значительной длины воздушного пути и наличия трех поворотов воздушного канала под углом 90° неизбежно осушение кондиционированного воздушного потока. Боковое положение подводящего канала приводит к тому, что воздух поступает не вертикально сверху или снизу через слой прорастающего зерна, а наклонно, после чего отсасывается под углом вверх. Неравномерность аэрации еще более усиливается из-за применения вытяжного вентилятора. Отводящий воздушный канал с отверстиями на нижней стороне размещают на кровле помещения для проращивания и подсоединяют к вытяжному вентилятору. Для обеспечения равномерности вентиляции и выравнивания температуры слоя зерна в некоторых случаях предусматривают возврат воздушного потока и сочетание вытяжной и нагнетательной вентиляции. К недостаткам такой системы относится сложность разводки, большая длина воздуховодов, частое изменение направления движения увлажненного воздуха, а также распределение масс воздуха через запорные и регулирующие устройства. Все это исключает возможность снабжения прорастающего зерна воздухом 100 %-ной влажности. Применение воздуха одного и того же качества на всех стадиях проращивания обуславливает температуру подаваемого воздуха, рассчитываемую на самое холодное зерно. В результате получается большой перепад температур зерновой массы и воздуха (прежде всего на стадии наиболее активного роста) и дальнейшее осушение зерна.

Подобное размещение вытяжных вентиляторов позволяет осуществлять лишь периодическую аэрацию проращиваемого материала. В течение периода покоя температура зерна за 4-6 ч поднимается

на определенную величину, но за 2 ч вентиляции свежим воздухом температурой $10-12^\circ\text{C}$ она снижается по сравнению с температурой в начале вентилирования примерно на 3°C , и поэтому температура верхнего слоя зерна составляет $15-12^\circ\text{C}$ в первые дни проращивания, $17-14^\circ\text{C}$ — в период интенсивного роста и $20-17^\circ\text{C}$ — в конце проращивания. Разность температур в нижних слоях проращиваемого материала существенно больше, чем в верхних. Почти сразу после включения вентилятора прорастающее зерно здесь охлаждается до температуры подаваемого воздуха (например, до 11°C), а в период покоя его температура становилась на несколько градусов выше температуры верхнего слоя. С такой частой сменой температур связаны высокие потери влаги, которые выравниваются только путем опрыскивания на 3-й, 4-е и 5-е сут проращивания. В период покоя содержание в зерне диоксида углерода повышается, достигая в зависимости от длины ящика 5-15 % об., причем в нижних слоях содержание CO_2 на 1-5% об. выше, чем в верхних. Поскольку подаваемый вентилятором воздух предназначен не только для поддержания одинаковых температур путем отвода вегетационного тепла, но и для дополнительного охлаждения на $3-5^\circ\text{C}$, производительность вентиляторов из расчета на 1 грядку должна быть не менее $1000-1500 \text{ м}^3/\text{г} \cdot \text{ч}$ при продолжительности вентиляции 2-3 ч. Следствием такого интенсивного вентилирования является дальнейшее осушение грядки. С помощью оперативного контроля влажности проращиваемого материала и благодаря увеличению влажности зерна удается получать солод хорошего качества и в этих не очень совершенных установках. При этом следует учитывать, что более высокое содержание CO_2 в зерне по сравнению

с наблюдающимся при непрерывной вентиляции, а также постоянные колебания температуры требуют максимальной влажности материала, превышающей влажность в современных аппаратах на 1-3 %.

Более совершенные аппараты типа *Saladin* оснащены помимо собственного напорного вентилятора индивидуальными устройствами для увлажнения и охлаждения, которые устанавливаются непосредственно перед соответствующими ящиками, поэтому путь воздуха от кондиционера до шиберов отводимого воздуха короткий и прямой. Еще одно усовершенствование — это свободный вход воздуха с узкой торцевой стороны ящика непосредственно под поверхность сита, благодаря чему он может беспрепятственно поступать по всей ширине ящика.

Такая конструкция не может обеспечить абсолютно равномерную вентиляцию проращиваемого материала в крупных солодорастильных ящиках (на 200-300 т). В данном случае, как и в растительных установках с ограниченным подситовым пространством, вентиляция осуществляется с торца (на отдельных участках — несколькими вентиляторами и объединенными с ними увлажнителями воздуха).

Регулирование расхода воздуха осуществляется с помощью шиберов для отвода воздуха или клапанов в воздуховодах перед вентилятором и увлажнительной установкой. Наиболее эффективно регулировать поступление воздуха можно изменением частоты вращения вентилятора, однако регулирование его количества с помощью шиберов для отвода воздуха имеет свои преимущества (в зависимости от степени его перекрытия в солодорастильном ящике создается противодавление, и проращиваемый материал оказывается между двумя воздушными подушками, препятствующими высыханию проращиваемого

зерна и способствующими равномерному прохождению воздуха и выравниванию температуры).

Поддержание требуемой температуры проращиваемого зерна облегчается за счет использования рециркуляционного воздуха: прошедший через грядку воздух не отводится наружу, а смешивается перед вентилятором со свежим воздухом. Смесь доводится до нужной температуры, увлажняется и затем под давлением проходит через зерно. Работают и с использованием исключительно рециркуляционного воздуха (если это предусмотрено способом ведения проращивания) — в таком случае в кровле или под днищем солодорастильного ящика прокладывают специальный канал для рециркуляционного воздуха. Если в одном помещении для проращивания находится несколько таких ящиков, то чаще всего прокладывают общий канал для рециркуляционного воздуха, служащий своего рода сборником рециркуляционного воздуха и дающий возможность передавать выходящий воздух на другую грядку, которая сама еще не отдает теплый воздух (например, при нагревании свежесмооченного зерна). При автоматическом смешивании свежего и рециркуляционного воздуха регулируемой величиной является температура, независимо от того, используется ли индивидуальное размещение ящиков для проращивания или они установлены в помещении для проращивания. Следует отметить, однако, что при ведении процесса проращивания в индивидуальных солодорастильных ящиках с самого начала работать полностью на рециркуляционном воздухе нецелесообразно. В первые 3-4 сут проращивания свежий воздух добавляют в количестве, необходимом для беспрепятственного протекания биологической

фазы, и лишь в заключительной фазе шибер для отвода воздуха постепенно закрывают, повышая тем самым содержание рециркуляционного воздуха. Кроме того, при работе в теплое время года рециркуляционный воздух всегда холоднее наружного, а в результате охлаждения он полностью насыщается влагой.

В отличие от старых ящиков для проращивания системы *Saladin* в современных конструкциях применяется постоянная вентиляция. Производительность вентиляторов в данном случае меньше и в зависимости от стадии проращивания составляет 250-700 м³/т · ч. Следствием постоянной вентиляции является равномерность температуры воздуха в грядке, которая, однако, в нижнем слое ниже, чем в верхнем. Более холодный воздух поступает снизу, нагревается в грядке и устремляется вверх. Перепад температур незначителен, и при правильной прокладке вентиляционных каналов составляет не более 2 °С. Перепад температур более 2 °С означает, что производительности вентилятора недостаточно, а если этот перепад меньше — что количество подаваемого воздуха слишком велико. Благодаря применению вентиляторов с регулированием числа оборотов можно без труда поддерживать разность температур в 2 °С.

Ведение грядки при традиционном способе солодоращения заключается в следующем. Замоченное зерно с температурой 11-12 °С выгружается из аппарата для замачивания вместе с водой с помощью центробежного насоса. В результате многократных проходов ворошителя происходит выравнивание ячменя. Лучше вначале оставлять грядку вообще без аэрации, чтобы таким образом обеспечить сток избыточной воды, а также поглощение ее зерном с поверхности. Когда температура прорастающего зерна на

2 °С превысит температуру замачивания (что является признаком его обсыхания), вентиляцию включают, причем сразу с полным увлажнением воздуха. При замедленном подсушивании и подъеме температуры грядки для удаления образующегося диоксида углерода может понадобиться вентилирование (каждые 1-2 ч в течение 10-15 мин). Для отсасывания СО₂ через зерно сверху вниз меняют направление вращения вентилятора. Как правило, поглощение адгезионной воды при степени замачивания около 43 % длится от 16 до 24 ч в зависимости от водочувствительности ячменя. При этом влажность проращиваемого материала повышается приблизительно на 2 %. Подсушивание проращиваемого зерна с помощью неувлажненного нагретого воздуха приводит к охлаждению грядки вследствие испарения воды и к замедленному прорастанию.

В первые 3-4 сут проращивания температура поднимается с 13-14 до 15-16 °С, причем температура нижнего слоя на 1,5-2 °С ниже, чем верхнего. Ворошение проводят два раза в сут, но для обеспечения равномерного роста рекомендуется проводить его 3-4 раза. Легкорастворимый ячмень выдерживают при температуре 16-17 °С до выгрузки свежепросошедшего солода. При переработке труднорастворимого ячменя температуру в течение 7 сут проращивания поднимают до 19-20 °С. Для этого необходимо повышение температуры подаваемого воздуха, которое достигают добавлением все возрастающих количеств рециркуляционного воздуха, причем с развитием ростков и увеличением степени растворения его расход устанавливается и проверяется ежедневно. Важнейшим фактором для определения пропорций свежего и рециркуляционного воздуха является температура подводимого воздуха, измеряемая на

входе в ящик под ситом. При этом следует учитывать охлаждающее действие разбрызгиваемой воды, необходимой для полного насыщения. Во избежание излишнего повреждения ростков интервал между ворошениями увеличивается сначала с 12 до 16, а затем до 24 ч. При проходе ворошителя и неизменной вентиляции температура проращиваемого материала поднимается на 1-2 °С, что объясняется наличием перегретых участков, образующихся во время интервалов в ворошении.

Нагревание воздуха в свежепросрошенном солоде, даже если оно составляет всего 2 °С, при перемещении воздуха приводит к осушению проращиваемого материала, что через 3-4 сут вызывает необходимость орошения, которое производится через форсунки, монтируемые на передней стороне каретки ворошителя. Встречаются также стационарные системы орошения, проложенные над слоем проращиваемого материала, которые, однако, не полностью выполняют свою роль вследствие отсутствия «перемешивающего действия» ворошителя. При нормальном росте солода за один проход ворошителя его влажность повышается примерно на 2 %. Снижение влажности проращиваемого материала составляет 0,5-0,7%/сут, если отсутствуют сильные

колебания температуры (например, охлаждение после значительного нагревания) или большая разность температур подаваемого воздуха и прорастающего зерна.

Характерное при проращивании в токовой солодовне схватывание грядки в солодорастильных ящиках не достигается. Срастается лишь верхний слой при периодической вентиляции, а в более глубоких слоях срастанию препятствует повышенное содержание CO₂. При непрерывной вентиляции отпотевания не происходит, поскольку образующаяся при дыхании влага сразу выносится воздухом. При этом особое внимание следует обращать на наличие непроросших зерен, главным образом у боковых стенок ящика и полукруглых выемках торцевых сторон (когда масса солода не полностью захватывается ворошителем). В результате избыточного увлажнения подаваемого воздуха мельчайшие капельки воды могут проникать через щели в ситах в нижний слой проращиваемого зерна, что способствует вращанию проростков в эти щели, сильно затрудняет доступ в такие места воздуха и приводит к повышению температуры зерна. Традиционное ведение солодоращения в солодорастильном ящике представлено в табл. 1.8.

Таблица 1.8. Режим солодоращения в солодорастильном ящике

Сутки проращивания	1	2	3	4	5	6	7
Температура, °С:							
в верхнем слое проращиваемого материала	12	13,5	14	15	16	17	18
в нижнем слое проращиваемого материала	12	12	12	13	14	15	16,5
подаваемого воздуха	-	11,5	11,5	12,5	13,5	14,5	16
Объем свежего воздуха, %	25	75	75	60	50	40	30
Объем рециркуляционного воздуха, %	75	25	25	40	50	60	70
Влажность свежепросрошенного солода, %	42,5	45,0	44,5	44,0/46,0	46,0	45,5	45,0
Производительность вентилятора, м ³ /т · ч ⁴	300	350	450	500	500	430	370
Интервал ворошения, ч	12	12	8	12	16	20	24

Проращивание при убывающих температурах. Современные методы замачивания предназначены именно для проращивания при убывающих температурах — в солодорастильный аппарат попадает уже равномерно «наклюнувшееся» зерно с температурой 15–18 °С, имеющее не один, а несколько корешков. С помощью третьего «мокрого» замачивания перед выгрузкой достигается влажность 41–42 %. Такая низкая влажность улучшает быстрый захват адгезионной воды, благодаря чему влажность грядки повышается до 42,5–43 %. При более высокой температуре зерна после стекания капель требуется немедленная вентиляция прорастающего зерна полностью кондиционированным воздухом. Целесообразно при этом поддерживать повышенную температуру проращиваемого зерна в течение нескольких суток и лишь после достижения максимальной влажности снизить ее до 12–14 °С.

Солод, полученный способом ступенчатого добавления воды при убывающей температуре проращивания, отличается более высоким выходом экстракта, лучшим растворением и повышенной ферментативной силой. Это обнаруживается, прежде всего, по числу Гартонга (VZ 45 °С) и α -амилазной активности. При этом сокращение продолжительности проращивания в большинстве случаев обеспечивают

тщательным подбором оптимальных для роста зерна условий проращивания (см. табл. 1.9).

Как видно из этой таблицы, влажность проращиваемого материала составляет с учетом адгезионной воды 42,5 %; такая влажность поддерживается до равномерного развилывания зерен (через 20–24 ч). Затем производят первое орошение до достижения влажности около 45 %, а через 24 ч — до влажности 48 %. Затем начинается интенсивное охлаждение грядки. Незначительное количество воздуха на стадии растворения способствует слабому убыванию влажности.

При ведении пневматического замачивания зачастую возникают затруднения на второй день (в теплое время года или при скудном замачивании, см. раздел 1.3.6.2). Наклюнувшиеся, частично развилывающиеся зерна при «мокром» замачивании подвергаются «водяному шоку» вследствие увеличения давления и протяженности трубопроводов. Намного эффективнее уже через 26 ч приступать ко второму «мокрому» замачиванию при влажности около 38 %, а после появления ростков при точном соблюдении заданных условий (в частности, температуры 18 °С), провести первое, а с наступлением фазы равномерного развилывания — второе орошение и выйти на максимальную

Таблица 1.9. Режим проращивания при убывающих температурах

Сутки проращивания	1	2	3	4	5	6
Температура, °С:						
верхнего слоя проращиваемого материала	18	18	18/13	13	13	13
нижнего слоя проращиваемого материала	16,5	16,5	16/11	11	11	11
подаваемого воздуха	16	16	15,5/10	10	10,5	10,5
Объем свежего воздуха, %	80	70	70	30	20	20
Объем рециркуляционного воздуха, %	20	30	30	70	80	80
Влажность проращиваемого материала, %	42,5	42,5/45,0	45,0/48,0	48,0	47,7	47,5
Производительность вентилятора, м ³ /т ч	350	500	500	400	350	350

влажность через 12 ч. После этой фазы продолжительностью 48-60 ч температуру снижают. Плавный, без пауз, переход от одной стадии к другой позволяет, несмотря на потерю одних суток замачивания, в большинстве случаев обойтись шестью сутками солодоращения. Здесь важно, что через 48-60 ч влажность зерна увеличивается на 8-10% с помощью 2-3 опрыскиваний. При этом при двух первых орошениях применяют теплую (18-22 °С) воду, правильное размещение форсунок и двухкратный проход ворошителя. Для создания одинаковых условий водопоглощения воду необходимо вносить с одной стороны (в одном направлении). Третье орошение для иницирования охлаждения грядки производится холодной водой.

При индивидуальном размещении ящиков возможно увеличение содержания CO_2 в воздухе грядки, причем при условии герметичности шиберов и т. д. можно добиться содержания CO_2 4-8%. При соблюдении отраслевых нормативов рост в фазе растворения можно затормозить на уровне 3-4% и таким образом уменьшить потери. Грядка становится легче, ее ведение можно осуществлять с использованием меньшего количества холода. Тем не менее работа на ранних стадиях с высоким содержанием CO_2 (8-10%) все-таки ухудшает растворение и ферментативную силу солода (см. раздел 1.5.1.2). Регулирование количества оборотов вентилятора в конце проращивания дает экономию энергии и способствует улучшению некоторых аналитических показателей, например, числа Гартонга (VZ 45 °С).

Использование искусственного охлаждения, а в холодное время года — применение управления соотношением свежего и рециркуляционного воздуха

независимо от температуры способствует автоматизации ведения грядки (см. раздел 1.5.2.7).

Способ перезамачивания применяют только при наличии пригодных для этого солодорастильных ящиков. Из-за увеличения массы при использовании воды для повторного замачивания он предполагает наличие достаточно прочного ящика, а также его водонепроницаемую конструкцию с установленными сверху вентиляторами или вентиляторами со шлюзовыми затворами. После приблизительно суточного замачивания зерно влажностью около 38% поступает в солодорастильный ящик. Оно очень быстро и равномерно прорастает при температуре 16-18 °С, однако вследствие низкой влажности образование корешка происходит довольно слабо. Примерно через 48 ч проращивания весь ящик заливают водой. В зависимости от температуры воды (12-18 °С) продолжительность такого повторного замачивания составляет от 8 до 24 ч — чем холоднее вода, тем больше времени требуется для инактивации зародыша. В заключение проращиваемый материал проходит фазу растворения (длительностью 48-60 ч); при высокой влажности (50-52%) после перезамачивания растворение осуществляется быстро и глубоко даже при низких температурах (12-14 °С). Рост зародыша корешка угнетён, а более продолжительная фаза растворения может привести к сильному развитию зародыша листка и даже к образованию «гусаров». Такой солод богат ферментами, хотя экзоферментная активность пептидаз и глюконаз несколько снижена. При правильном осуществлении данного метода потери составляют 5-6% от СВ.

Эффекта перезамачивания можно добиться и в обычном солодорастильном

ящике за счет того, что к моменту повторного замачивания ворошитель дважды проходит через грядку в одном направлении с интервалом 150 мин; при этом применяется полное орошение с использованием форсунок. Этот метод позволяет за 12-14 ч повысить влажность грядки с 38 до 50-52 % при помощи четырех двойных проходов ворошителя и получить сходные данные анализа солода при несколько более высоких значениях потерь по сравнению с классическим повторным замачиванием. Залив в ящик с проращиваемым материалом большого объема воды в том случае, если ворошитель не обеспечивает эффективного перемешивания и равномерного проникновения влаги во все слои, к результату не приводит. Хотя технология перезамачивания дает преимущества в ускорении прорастания и сокращения потерь в сочетании с возможностью управления качеством солода, приходится высушивать около 6 % дополнительной воды.

Выгрузка свежепросошего солода даже на очень крупных установках должна проводиться довольно быстро (за 2-3 ч). При механическом транспортировании свежепросошего солода применяются элеватор, шнеки и транспортеры. Скребки приводятся в движение канатной лебедкой, однако при этом требуются большие трудозатраты: при напряженной работе на 1 солодорастильный ящик вместимостью 30 т ячменя необходимо 2-3 чел. Солод при этом сгребается в находящийся в конце ящика желоб, из которого он поступает на транспортное устройство. Для подачи в желоб переднюю стенку ящика убирают, и специальные скребковые устройства обеспечивают опорожнение ящика под контролем 1 человека. Удобны в работе специальные тележки, перемещаемые от одного ящика к другому,

но применять их целесообразно только в помещениях для проращивания. В крупных солодорастильных аппаратах оправдано применение ворошителя-опорожнителя с вращающимися шнеками, работающего со скоростью 0,4-0,5 м/мин. При остановке шнеков обработанный солод сдвигается со скоростью 10 м/мин в желоб для транспортирования. Такой ворошитель работает автоматически. Пневмотранспортирование свежепросошего солода предусматривает сгребание материала во всасывающую воронку или загрузку его граблями во всасывающий шланг. Эта работа очень тяжела и трудоемка — 3 чел. затрачивают на перемещение 30 т материала 2,5-3 ч. При разгрузке по схеме Коха используется подъемный эффект шнеков ворошителя, поднимающих солод в поперечный шнек, который обеспечивает его перемещение в приемник телескопической трубы всасывающей установки. Высокая производительность устройства достигается тем, что всасывающая установка всегда заполняется равномерно. По достижении максимальной емкости трубу можно в случае необходимости удлинить соответственно рассчитанным отрезком. Для обслуживания здесь требуется один человек. Сходный принцип работы имеют так называемые «разгрузочные комплекты», которые можно легко адаптировать к имеющимся установкам. Рациональной конструкцией для перемещения грядки является движущееся сито, которое медленно перемещает зерно над желобом со свежепросошемым солодом. Несущее грядку сито возвращается либо по днищу, либо над солодорастильным ящиком; его можно неоднократно очищать автоматически. Такое устройство при соответствующем размещении аппаратов для замачивания позволяет проводить «сухое» замачивание зерна.

Солодорастильные ящики, особенно несущие листы, ворошитель и увлажнительные башни, а также систему каналов необходимо тщательно очищать. Эта работа упрощается благодаря применению опрыскивающих аппаратов высокого давления. Тележки для очистки с электроприводом автоматически очищают щелью зону под решеткой, а также выполняют дополнительное ополаскивание. Конструкция опор требует использования двух параллельно перемещающихся тележек. Подобные тележки применяют также для очистки ящика над ситом. С учётом затрат на подобные устройства для чистки желательно использовать их для обслуживания нескольких ящиков, однако для этого требуется наличие смещаемых торцевых стенок и поперечного соединения ящиков. Для чистки вентиляторов, ворошителей и холодильной установки используют механические средства.

Практически во всех типах пневматических солодорастильных аппаратов в той или иной степени используется принцип солодорастильного ящика системы *Saladin*, будь то солодорастильные аппараты типа «передвижная грядка», в которых предусмотрено горизонтальное или вертикальное перемещение грядки, или стационарные системы, позволяющие в одной конструкции осуществлять все технологические операции (замачивание, проращивание и сушку).

Солодорастильные аппараты круглого сечения бывают отдельными или выполненными в виде башни. Изначально они служили статической солодорастильной установкой для замачивания, проращивания и сушки и использовались как солодорастильно-сушильные ящики. Задачи экономии энергии привели затем к выделению функции сушки, и таким

образом это оборудование в настоящее время используется исключительно для проращивания. Солодорастильные аппараты круглого сечения чаще всего изготавливают из бетона и вмещают до 300 т зерна, причем удельная нагрузка составляет 450-580 кг/м² поверхности. Ситчатое днище выполнено из нержавеющей стали; для облегчения чистки подситовое пространство также облицовано нержавеющей сталью. Сито в зависимости от исполнения может быть неподвижным и поворотным. Привод поворотной ситовой поверхности осуществляется 4-6 двигателями, расположенными по периферии. Возможны две частоты и два направления вращения — один оборот длится 60 или 120 мин. Очень важно предусмотреть герметизацию сита у стен здания, что имеет большое значение для предотвращения попадания замоченного, проращиваемого или высушиваемого материала. Окружная скорость сита составляет соответственно 0,55 об/мин по внешнему краю и 0,16 м/мин по внутреннему, и поэтому число оборотов шнекового ворошителя с устройством для перемещения зерна, смонтированного стационарно, необходимо снизить с 12 до 3,5 об/мин. При выгрузке открывается разгрузочная заслонка и свежепросоший солод поступает с помощью шнека по направлению к расположенной в центре воронке. Подача материала и его выгрузка занимают 2 ч.

Вентиляционные устройства размещают в отдельном от солодорастильной башни сооружении. Производительность вентиляторов составляет от 250 до 650 м³/т · ч, а испарителя — 10 000 кДж/т · ч. Охлажденный и увлажненный воздух поступает через тщательно подогнанный изолированный клапан в помещение с повышенным давлением. Работа клапана для

выпуска воздуха регулируется автоматически в соответствии с заданным соотношением количеств свежего и рециркуляционного воздуха. Кондиционирование воздуха до максимально высокого насыщения водяным паром осуществляется через систему форсунок или направления струи воды на центральную ось радиального или осевого вентилятора.

Проращивание в солодорастильных аппаратах круглого сечения, независимо от того, расположены ли они друг над другом или на одном уровне, проводят по тем же принципам, что и для прямоугольных ящиков. Зачастую замачивание проводят в течение двух суток в замочном аппарате (или группе аппаратов) с коническим или плоским днищем; расчетное время проращивания составляет 6, реже 5 сут.

Чистку крупных аппаратов проводят с помощью моечных агрегатов высокого давления для горячей и холодной воды или автоматической моечной установки, размещенной в каждом ящике и предусматривающей щелочную обработку.

1.5.3.4. Солодовня с солодорастильными аппаратами типа «передвижная грядка» состоит из 7-9 параллельно расположенных ящиков для проращивания, разделенных на отделения (так называемые «полусуточные»). Всего получается 14-18 вентилируемых отделений. В период проращивания грядка перемещается от первого отделения к последнему, а затем — в солодосушилку. Решетки выполнены или в обычном варианте (оцинкованными с прорезями, составляющими 20 % поверхности), или в виде сит, которые дороже, но живое сечение 35-40 % обеспечивают прохождение воздуха. При установке вентиляционных устройств необходимо учитывать различ-

ную потребность в воздухе «суточных» и «полусуточных» участков, для чего применяют продольные или поперечные аэраторы. При продольной вентиляции на каждой линии проращивания устанавливают два вентилятора, каждый из которых оснащен своим кондиционером воздуха, состоящим из систем охлаждения и увлажнения. Вентиляторы подают как свежий, так и рециркуляционный воздух. В зависимости от условий воздух охлаждается до нужной температуры (обычно до 12 и 18 °С), после чего увлажняется и подводится по двум раздельным каналам на всем протяжении линии проращивания. Регулирование температуры смеси свежего и рециркуляционного воздуха, подаваемого на тот или иной участок, осуществляется с помощью шибера. Поперечная вентиляция осуществляется по воздуховодам, расположенным перпендикулярно к продольной оси линии проращивания, и в этом случае холодильные и увлажняющие установки располагают на продольной стороне линии. Применяются также индивидуальные охлаждающие башни, по мере надобности обслуживающие «суточное» отделение и установки с централизованной воздухоподготовкой. В последней происходит раздельное регулирование температуры и увлажнение свежего и рециркуляционного воздуха. Затем полученная воздушная смесь подается в проращивающее зерно через кондиционер, с помощью которого температура подаваемого воздуха регулируется индивидуально. Поперечная вентиляция перемещаемой грядки применяется в случаях, когда несколько параллельных солодорастильных аппаратов обслуживаются одной установкой. Кондиционер может иметь разные габариты и обслуживать различные участки проращивания (1-е

сут, 2-е и 3-й сут, 4-е и 5-е сут, 6-е, 7-е и 8-е сут). Поперечная вентиляция передвижной грядки применяется в случаях, когда несколько параллельных аппаратов обслуживаются одной установкой.

Ворошитель для аппарата с передвижной грядкой выполняет одновременно функции ворошения и транспортирования, перемещая при каждом ворошении зерно на одно «полусуточное» отделение, а при наличии соответствующего дополнительного устройства — на одно «суточное». Последнее необходимо, если солодосушилка располагается непосредственно у последнего отделения. Свежепроросший солод с двух полусуточных отделений в этом случае подается в солодосушилку одновременно. Существуют два типа ворошителей: обычный (с ковшовым элеватором) и шнековый. Ворошитель с ковшовым элеватором состоит из рамной гидравлически поднимаемой каретки, которая перемещается вперед со скоростью 0,33 м/мин; скорость холостого хода — 2,5 м/мин (рис. 6.29). На этой гидравлически поднимаемой и опускаемой каретке подвешен треугольный ковшовый элеватор, работающий по всей ширине ящика. Транспортёр установлен под уклоном, соответствующим среднему углу откоса материала. Материал продвигается против направления хода ворошителя точно на величину полусуточного отделения. Угол откоса для замоченного зерна составляет 44°, а для свежепроросшего солода — 65°. Наряду с этим осуществляется смешивание продукта на границе второго полусуточного отделения, которое может к концу времени солодоращения составить 35 %.

Ширина описанного ворошителя не может превосходить ширину ящика (5,6 м), что обуславливает суточную производительность, (около 15 т на 1 линию

проращивания). Модифицированный ворошитель с параллельно расположенными перемещающими шнеками может иметь большую ширину, что повышает суточную производительность примерно на 50 т.

Условия проращивания в передвижной грядке соответствуют условиям в ящике для проращивания, установленном в помещении для проращивания. Разность температур верхнего и нижнего слоев составляет 1,5-2 °С. При использовании ворошителей устаревших конструкций вследствие чрезмерного смешивания материала на местах раздела может оказаться необходимым уже на 3-4-е сут проращивания поднять температуру прорастающего зерна примерно до 17 °С (для обеспечения достаточной степени цитолитического растворения солода). Условия увлажнения передвижной грядки аналогичны условиям в ящичной солодовне. Естественное высыхание требует орошения на 3-4-е сут проращивания. Можно также постепенно повышать влажность проращиваемого материала, так как ворошитель обеспечивает интенсивное перемешивание зерна с подводимой водой. Состояние воздуха при ведении передвижной грядки соответствует его состоянию в помещении для проращивания. Если в зависимости от его количества и стадии проращивания на каждом «полусуточном» или «суточном» отделении наблюдаются колебания давления подаваемого воздуха, то происходит выравнивание давлений и содержания диоксида углерода в зерне. Вследствие этого насыщение CO_2 становится невозможным и устанавливается его среднее содержание в слое зерна около 1% об. Главные преимущества солодовни с аппаратами типа «передвижная грядка» заключаются в возможности наблюдения за ходом

солодоращения, а также в сокращении трудозатрат. Прежде всего, упрощается удаление свежепросоженного солода. Автоматическое регулирование температуры осуществляется с помощью отдельных охладителей воздуха или путем установления нужного соотношения свежего и рециркуляционного воздуха.

1.5.3.5. Солодорастильные аппараты типа «перегружаемый ящик» Lausmann предусматривают ежедневное перемещение зерна в следующий ящик. Ящики квадратного или прямоугольного сечения располагают в ряд, непосредственно друг около друга. Поднимают и опускают их с помощью подъемного устройства обычной конструкции, регулируя, таким образом, высоту пространства под ящиками. При максимальном подъеме сито достигает края ящика для проращивания, чем обеспечивается его полная очистка. Ворошение осуществляется при подъеме сита, в результате чего часть проращиваемого материала пересыпается через разделительную стенку двух ящиков и перемещается с помощью ворошителя особой конструкции в следующую секцию ящика или в сушилку. Ворошитель состоит из системы скребков и возвышается над двумя ящиками, благодаря чему можно полностью разровнять солод в следующем ящике. В процессе ворошения по мере подъема одного сита оно постепенно опускается. При этом используются две возможности: меньший ход загружаемого сита (около 20 см) дает хорошее перемешивание материала, но приводит к известному спрессовыванию его в первой трети ящика и нарушению равномерности вентиляции. Большой ход сита (около 70 см) уменьшает спрессовывание и обеспечивает равномерную вентиляцию зерна. Перемешивание зерна не

так эффективно: верхний слой предыдущей грядки попадает в переднюю треть второго ящика, поэтому здесь несколько часов сохраняется более высокая температура. Её можно выравнять, поместив наиболее высоко расположенный слой грядки в противоположную треть загружаемого ящика. Степень разрыхления укладываемой грядки такова, что ворошение требуется один раз в сутки. Удельная нагрузка на сито может составить 600 кг/м², вместимость до 75 т на ящик.

Влажность повышается с помощью смонтированных на ворошителе распылительных форсунок до 6 % за один проход ворошителя. При расчете производительности вентиляторов и испарителей для 2-х, 3-х и 4-х сут проращивания необходимо учитывать интенсивное выделение тепла. В каждом ящике прорастающее зерно проходит определенные стадии, поэтому работу вентиляционных устройств и кондиционеров (состоящих из холодильников и увлажнительных форсунок) необходимо рассчитывать в соответствии со стадией роста, исходя из 7-ми сут. замачивания и проращивания.

При этом из-за интенсивного разрыхления при ворошении повышение температуры во время ворошения в загруженном ящике и нивелирование разницы температур требует большей мощности, чем при использовании аппаратов *Saladin*. Указанные значения относятся к многоскоростному двигателю с регулированием мощности ($2/3$ и $3/3$), но современному состоянию техники лучше соответствует двигатель с регулируемой частотой оборотов. Благодаря соответствующему заглублению подъемных цилиндров, например во 2-ом и 3-ем ящиках, сито можно опустить так низко, что в них можно проводить повторное замачивание с относительно низким расходом

воды. Аналогичную задачу призвана выполнять часто используемая система «за-топления», позволяющая в течение 15-25 мин доставить большое количество воды через крупные форсунки. Вместе с тем из-за отсутствия в данном случае одновременного эффекта ворошения такое увлажнение является недостаточно эффективным. Содержание углекислого газа такое же, как и в помещении для проращивания.

1.5.3.6. Башни для проращивания (системы Optimalzer) и солодорастильные ячейки системы Popp в настоящее время уже не встречаются — во-первых, из-за размеров партий (15-30 т), и во вторых, из-за высокого водопотребления и, соответственно, высоких энергозатрат на сушку. Тем не менее эти установки внесли ценный вклад в современное состояние технологии солодоращения.

1.5.3.7. Способ, основанный на применении углекислотной паузы, состоит в том, что в конце биологической фазы проращивания, проводимой при нормальной воздушной среде, следует период замедления процессов обмена веществ из-за насыщения воздуха диоксидом углерода и одновременного усиления процессов растворения зерна. Долгое время считали, что в случае благоприятного образования ферментов в биологической фазе этот процесс можно еще усилить, если снизить содержание кислорода, повысив тем самым активность прорастающего ячменя. Это должно было проявляться в повышенном синтезе ферментов и усиленном растворении эндосперма, однако полученные результаты были весьма противоречивы, что объясняется трудностями в воспроизводимости сложных экспериментов и отсутствием пригодных

методов малого солодоращения. Эндoferменты (прежде всего α -амилаза и эндо- β -глюканаза) образуются лишь в аэробных условиях. Как только содержание CO_2 в слое прорастающего зерна возрастает до 10 или 20 % об., накопление ферментов заметно ослабевает. Уравновешивает этот ингибирующий эффект подведение свежего воздуха. Образование и действие ферментов не связано с присутствием кислорода, поскольку в атмосфере диоксида углерода при замедлении роста корешков и листочков наблюдается более заметное накопление низкомолекулярных продуктов (аминокислот и Сахаров), что приводит к интенсивному окрашиванию солода при сушке.

Такой показатель, как разность экстрактов солода тонкого и грубого помолов, выравнивается при более низком содержании CO_2 . Содержание 4-7 % об. CO_2 , выделяемого при дыхании зерна, для всех образцов сильно растворимого солода приводит к некоторому торможению роста и является одним из факторов сравнительно несложного управления ведением солодоращения.

Проведение углекислотной паузы по способу Кронфа осуществляется в специальных ящиках, в которые свежепросощенный солод поступает с тока или других солодорастильных аппаратов. Момент ее проведения выбирается в зависимости от состояния прорастающего зерна, в котором должны обнаруживаться явные признаки растворения. Свежепросощенный солод находится в ящике для растворения 2-4 сут, а вентилируется только 12 ч. В остальное время в зависимости от свойств ячменя и интенсивности роста накапливается CO_2 (прежде всего в нижних слоях, где содержание диоксида углерода доходит до 20-28 % об.). Затем CO_2 удаляют путем интенсивной вентиляции

за 1-2 ч. В интервалах между проведением вентиляции целесообразно примерно через 5-6 ч откачивать CO_2 , скапливающийся под ситами, чтобы проращиваемое зерно «не задохнулось». Температура здесь 18-20 °С, так как атмосфера CO_2 препятствует дальнейшему нагреванию. Для ускорения охлаждения подают увлажненный воздух температурой не выше 10-12 °С, однако при этом наблюдается резкий перепад температур, который, несмотря на кондиционирование воздуха, может повлиять на влажность среды. Вентиляцию с помощью вытяжных или нагнетательных вентиляторов осуществляют всегда снизу вверх.

Проведение углекислотой паузы по способу Кропфа осуществляется в специальных ящиках, в которые свежепросошедший солод поступает с тока или других солодорастильных аппаратов [569]. Момент ее проведения выбирается в зависимости от состояния прорастающего зерна, в котором должны обнаруживаться явные признаки растворения.

Свежепросошедший солод находится в ящике для растворения 2-4 сут, а вентилируется только 12 ч. В остальное время в зависимости от свойств ячменя и интенсивности роста накапливается CO_2 (прежде всего в нижних слоях, где содержание диоксида углерода доходит до 20-28 % об.). Затем CO_2 удаляют путем интенсивной вентиляции за 1-2 ч. В интервалах между проведением вентиляции целесообразно примерно через 5-6 ч откачивать CO_2 , скапливающийся под ситами, чтобы проращиваемое зерно «не задохнулось». Температура здесь 18-20 °С, так как атмосфера CO_2 препятствует дальнейшему нагреванию. Для ускорения охлаждения подают увлажненный воздух температурой не выше 10-12 °С, однако при этом наблюдается резкий перепад

температур, который, несмотря на кондиционирование воздуха, может повлиять на влажность среды. Вентиляцию с помощью вытяжных или нагнетательных вентиляторов осуществляют всегда снизу вверх.

Длительная пауза связана с недостатками интрамолекулярного дыхания зерна: эндосперм растворяется, что можно наблюдать визуально: зерно делается молочно-сальным и в результате этерификации приобретает кислый, несколько фруктовый запах, интенсивно при сушке окрашиваясь. Избыточное содержание низкомолекулярных продуктов расщепления солода по Кропфу делает этот способ наиболее пригодным для изготовления темного солода. Следует отметить, однако, что ящики для растворения имеют ограниченную вместимость. Из-за необходимости соблюдения определенного отношения объема воздуха к объему солода вместимость одной установки не превышает 15 т. Загрузка и разгрузка ящика довольно трудоемки, хотя при использовании современной техники (опрокидывающиеся сита и т. д.) условия несколько улучшаются. Большие трудозатраты не всегда позволяют получить экономию за счет снижения потерь на 2-3%, в связи с чем в настоящее время описанный способ применяется крайне редко (это связано также с невозможностью влиять на качество солода).

1.5.3.8. Прочие физические способы влияния на процесс проращивания. В данном случае следует различать применение веществ, замедляющих рост бактерий (ингибиторов процесса проращивания), и использование регуляторов роста (активаторов).

Вещества, замедляющие рост бактерий, в Германии не применяются. Применение

азотной кислоты или мочевины, содержащей азотную кислоту, призвано ограничить рост корешка зародыша и представляет лишь исторический интерес. В некоторых странах в качестве ингибитора протеазы разрешено внесение бромата калия (100-300 мг/кг ячменя). При его добавлении в последнюю замочную воду можно добиться уменьшения потери примерно на 2 % и снизить растворение белка.

Добавление ферментов, например эндо- β -глюканызы, способствует улучшению цитолитического растворения у труднорастворимого ячменя (многорядного озимого). Глюканызы, полученные из плесневых грибов, добавляют лишь в последний день проращивания (или с помощью дозирующего шнека при выгрузке грядки). Так как эти ферменты более устойчивы по сравнению с собственными ферментами зерна, их действие в полной мере проявляется при затирании.

К активаторам процесса проращивания относится гибберелловая кислота. Как известно из теории проращивания, в зародыше зерна после водопоглощения образуется гибберелловая кислота A_3 и гиббереллин A_1 , стимулирующие образование в алейроновом слое гидролитических ферментов. Внесение гибберелловой кислоты в количестве 0,01-0,03 мг/кг ячменя вызывает интенсивное дополнительное образование ферментов. Вследствие этого в готовом свежепроросшем солоде отмечается значительное цитолитическое и протеолитическое растворение, что позволяет сократить продолжительность проращивания с 7 до 4-5 сут. Добавлять гибберелловую кислоту следует осторожно, так как передозировка может привести к перерастворению солода и окрашиванию конгрессного сусла. Чтобы сократить продолжительность

солодоращения на 2 сут при одновременном улучшении степени растворения зерна, для добавления к последней замочной воде достаточно 0,15 мг гибберелловой кислоты/кг ячменя. Эффективнее, однако, добавлять гибберелловую кислоту в начале проращивания — при этом для достижения того же результата оказывается достаточно внесение 0,06-0,10 мг/кг, но в этом случае требуется интенсивное перемешивание раствора с уже подсушенным или даже наклонувшимся ячменем. При проращивании в течение 4-5 сут изменения в солоде, а значит и в степени окрашивания конгрессного сусла, удерживаются в приемлемых рамках. Цветность кипяченого сусла (см. раздел 2.1.3.6) даже при небольшой дозировке существенно интенсивнее, чем у необработанного солода. Дозировки 0,15-0,25 мг/кг способны компенсировать недостаток энергии прорастания ячменя. Сочетание внесения 0,25 мг гибберелловой кислоты и 100 мг бромата калия на 1 кг ячменя способно снизить потери при солодоращении, целенаправленно воздействовать на процесс растворения и на сокращение продолжительности проращивания. В сочетании с повторным замачиванием теплой (около 40 °С) водой внесение гибберелловой кислоты может дать определенные технологические преимущества.

Особый интерес применение гибберелловой кислоты приобретает при предварительном частичном удалении цветочной оболочки ячменя (от 0,5 до 1 %). Повреждение плодовой и семенной оболочек приводит к равномерному проникновению гибберелловой кислоты внутрь зерна, что стимулирует образование ферментов и растворение. За счет нарушения плодовой и семенной оболочек улучшаются также показатели солодоращения свежубранного ячменя (продолжительность

проращивания сокращается на 40-50%). К недостаткам наряду с потерями вещества зерна относятся серьезные трудности в оценке степени растворения в процессе проращивания, в результате чего очень интенсивное образование ферментов в определенных условиях может обусловить последующее перерастворение в процессе подвяливания солода. Возможно также потемнение зерна при его сушке вследствие сильного белкового растворения. Проращивание лучше проводить в солодорастильно-сушильных ящиках, где процесс можно прервать в любой момент. В заключение следует отметить, что свежепросошенный солод легко повреждается при транспортировке. Дальнейшее ускорение проращивания связано со слабым подкислением замочной воды с помощью 0,01 н. раствора H_2SO_4 в сочетании с добавлением большой (0,5 мг/кг) дозы гибберелловой кислоты.

Выяснилось однако, что положительный эффект можно получить обрушением 1-2 % от общего количества ячменя и без добавления гибберелловой кислоты, в частности, существенно снижается водочувствительность, происходит сильный, равномерный рост зародыша, наблюдается быстрое ферментообразование, в результате чего продолжительность проращивания можно сократить более чем на 24 ч. Удаление цветочной оболочки сказывается на повышении выхода экстракта солода (что позволяет перерабатывать даже многорядный озимый ячмень) и позволяют добиться высоких показателей растворения, однако следствием этого является более интенсивное окрашивание. Производительность современных установок для обрушения ячменя составляет около 8 т/ч.

При раздавливании замоченного до влажности 37-39 % ячменя (на

двухвальцовой мельнице с расстоянием между вальцами от 1,8 до 2,0 мм) разрушается структура клеточных стенок, благодаря чему влага и гибберелловая кислота (добавляемая сразу же после раздавливания в количестве 0,25-0,75 мг/кг зерна) распределяются равномерно. После 5-суточного проращивания с минимальной влажностью 40 % получают солод, отвечающий требованиям спецификации. Без добавления гибберелловой кислоты, несмотря на проращивание зерна повышенной влажности, этот способ не дает удовлетворительных результатов.

В Германии применение гибберелловой кислоты запрещено (ее использование даже в минимальных дозировках легко выявляется иммунологическими методами анализа).

Одним из способов улучшения показателей свежеприготовленного солода является добавление в конце проращивания водного раствора глюкозы. Обработанный таким образом «глюкозный солод» характеризуется повышенной экстрактивностью и растворимостью.

К специальным методам проращивания можно отнести различные модификации способа перезамачивания. Повторное замачивание в течение 3 ч при температуре 30 °С существенно угнетает рост корешков. При этом общая продолжительность замачивания и проращивания сокращается до 96-110 ч, а потери при солодоращении снижаются до 4 %.

При использовании гибберелловой кислоты в сочетании с применением способа многократного замачивания удается добиться сокращения продолжительности замачивания и проращивания до 84-96 ч, если температура при замачивании составляет 40 °С. Происходящее при этом ингибирование роста корешков позволяет снизить потери. Процессами

превращения веществ в солоде можно управлять, с одной стороны, путем регулирования концентрации гибберелловой кислоты, а с другой — параметрами замачивания теплой водой. Эти способы сокращают необходимость ворошения проращиваемого зерна, в связи с чем их применяют, в основном, в стационарных (статических) солодовнях.

1.5.4. Готовый свежепросошедший солод

В конце процесса проращивания свежепросошедший солод следует оценивать по его внешним признакам и свойствам эндосперма. Это позволяет сделать выводы о ходе процесса соложения и оценить целесообразность проведенных мероприятий. Запах свежепросошедшего солода должен быть свежим и напоминать огуречный. Кисловатый, слегка фруктовый запах позволяет сделать заключение о неправильном ходе солодоращения (например, об интрамолекулярном дыхании в результате слишком длительного или частого орошения или слишком продолжительного повторного замачивания, о слишком продолжительных углекислотных паузах при периодической вентиляции, о поступлении на переработку ячменя, поврежденного при хранении). Затхлый, плесневелый запах свидетельствует о переработке заплесневевшего ячменя, недостаточной степени его очистки или о вторичном инфицировании в солодорастильной установке. Последнее случается редко, когда на переработку поступает ячмень с большим количеством поврежденных зерен или обрушенный ячмень. Треснувшие и лопнувшие зерна могут дать толчок к распространению инфекции. Затхлый, застоявшийся запах может образоваться из-за повышенного содержания истертых ростков

корешков, так как они набиваются между зернами свежепросошедшего солода и затрудняют равномерную вентиляцию грядки.

Исходя из этого, необходимо ежедневно контролировать внешний вид проращиваемого зерна и, прежде всего, степень его инфицирования микроорганизмами: зеленая окраска, проступающая на поверхности зерна, возникает из-за поражения *Penicillium*, черная — *Rhizopus* и красная — *Fusarium*. Наличие даже 0,5 % таких окрашенных зерен требует особой обработки партии зерна.

Проростки корешков должны быть одинаковой длины и свежими. Наличие коричневых увядших проростков свидетельствует о потере влаги вследствие неправильного ведения солодоращения. Потеря необходимой влаги приводит к неудовлетворительному растворению. Повышенная ломкость проростков указывает на слишком частые проходы или неудовлетворительную работу ворошителя, особенно в случае использования солодорастильных аппаратов ящичного типа со шнековыми ворошителями.

Ростки листа должны быть развиты равномерно. Наличие проростков («гусаров») нежелательно, но при переработке разнородного ячменя и частом опрыскивании их появление неизбежно.

При растирании зерна должен получаться сухой мучнистый порошок. При неполном растворении зерен необходимо проверить степень растворения эндосперма. На краях и особенно на брюшной стороне труднорастворимого ячменя, солодоращение которого велось при повышенной влажности, зачастую обнаруживается осаливание.

Степень растворения у всех зерен должна быть по возможности равномерной. Липкая или тестообразная консистенция свидетельствует о слишком позднем или

сильном орошении. При сушке такие зерна характеризуются плохим запахом, с трудом высушиваются и дают при застирании стекловидный труднорастворимый солод.

Перед выгрузкой свежепросоженного солода должна определяться его влажность (в целях получения данных для проведения последующей сушки).

Визуальный контроль прорастающего зерна на любой стадии роста — даже на крупных и полностью автоматизированных установках — позволяет оценить результативность проводимых мероприятий. Определение качества готового свежепросоженного солода осуществляется с учетом необходимого типа солода и ожидаемых превращений при сушке.

1.6. Сушка свежепросоженного солода

1.6.1. Общие положения

Свежепросоженный солод легко портится из-за высокой влажности, поэтому его следует перевести в устойчивое для хранения состояние удалением воды. Химико-биологические превращения, происходящие в процессе проращивания, при сушке должны завершиться. Кроме того, задачей сушки является устранение запаха и вкуса свежепросоженного солода, формирование характерного для каждого типа солода аромата и достижение соответствующего окрашивания. При сушке также удаляют ростки листа и корешки, способствующие повторному поглощению влаги высушенным солодом.

Этих целей можно достичь с помощью подсушивания (подвяливания) и сушки

солода. В процессе обезвоживания свежепросоженного солода различают два этапа.

Подсушивание (подвяливание) — удаление влаги из свежепросоженного солода при более низких температурах до влажности около 10 %. На этой стадии удаление воды до достижения влажности 18-20% (до так называемой точки гигроскопичности) проходит легко. Дальнейшее подсушивание до 10 %-ного содержания влаги проходит труднее, но все еще сравнительно просто. В высокопроизводительных сушилках эта стадия отличается скачкообразным подъемом температуры отводимого воздуха, а при работе двухъярусной сушилки — легким «прохождением» слоя солода. Способы подсушивания светлого и темного солода различны.

Собственно высушивание проводится до содержания влаги в светлом солоде 3,5-4 %, а темного — до 1,5-2 %. По сравнению с подсушиванием обезвоживание проходит намного сложнее, так как ему противодействуют капиллярные, а в конце и коллоидные взаимодействия, удерживающие влагу внутри зерна. Замедлению удаления воды на этой стадии способствуют сморщивание и ломкость ростков корешков. Обезвоживание проводят при температуре 80-105 °С.

При обезвоживании в зерне происходят физические и химические изменения.

1.6.1.1. Физические изменения зерна относятся к влажности, объему, массе и цвету солода. Снижение влажности с 41-48 до 1,5-4 % должно проводиться таким образом, чтобы в свежепросоженном солоде не происходило резкого уменьшения объема. При замачивании и проращивании ячменного зерна его объем увеличивается, оно становится более упругим. В результате растворения в сердцевине

зерна образуются мелкие пустоты, которые должны по возможности дольше сохраняться, чему способствует правильное ведение процессов подсушивания и сушки. Объем солода больше объема ячменя на 16-23 %, а в благоприятных случаях — даже более чем на 24 %. Последнее возможно только при осторожном обезвоживании с применением большого количества воздуха и пониженных температур. Таким путем получают солод, сохраняющий положительные свойства свежепросоженного солода и содержащий большое количество ферментов, хорошо разрыхляемый и размалываемый. При слишком быстрой сушке и воздействии на еще влажное зерно высоких температур внешние слои зерна затвердевают, наблюдается сморщивание пор, стекловидность. Тем самым затрудняется отведение еще находящейся внутри зерна влаги, оно становится тяжелым и жестким. Такой солод при затирании отдает экстракт частично. Масса солода при сушке в результате удаления воды изменяется. 100 кг ячменя дают около 160 кг свежепросоженного солода влажностью около 47 %, из которых получается около 80 кг сухого солода. Таким образом, необходимо удалить количество воды, примерно соответствующее массе готового сухого солода. Свежепросоженный солод, получаемый современными способами солодоращения, обычно наполовину состоит из воды. Цветность различных типов солода оценивается по-разному: 2,0-2,5 ц. ед. ЕВС для свежепросоженного солода, 2,5-4 — для светлого, 5-8 — для венского и 9,5-21 ц. ед. ЕВС — для темного. Аромат и вкус солода формируются параллельно с формированием цвета. Образование участвующих в этих процессах веществ обусловлено химическими превращениями различных соединений.

1.6.1.2. Химические изменения свежепросоженного солода при сушке делятся на три основных типа: превращения, которые проявляются как следствие дальнейшего естественного развития процессов диссимилиации и синтеза новых соединений (фаза роста); превращения, продолжающиеся после прекращения роста как результат чисто ферментативных реакций (ферментативная фаза); превращения, происходящие в результате процессов высушивания или наступившего теплового затвердевания зерна и которые следует рассматривать как чисто химические изменения, протекающие под влиянием тепла и в присутствии определенных количеств воды (химическая фаза).

Рост зерна возможен до тех пор, пока его влажность не упадет ниже 20 %, а температура не превысит 40 °С. Он проявляется в увеличении длины зародышевого листка, которое происходит до конца процесса подсушивания. Накопление ферментов способствует процессу растворения эндосперма, проявляющегося в увеличении количества растворимого азота, низкомолекулярных продуктов распада крахмала и в дальнейшем расщеплении стенок клеток эндосперма. Степень этих изменений тем больше, чем выше влажность и температура в области примерно до 30 °С (в противном случае происходит инактивация части лабильных ферментов), однако если рост зародышевых листка и корешка в сравнении с ферментативными процессами невелик, то происходит накопление низкомолекулярных продуктов расщепления.

Ферментативная фаза наблюдается при температуре 40-70 °С. Под действием амилазы, пептидазы, глюканызы и фосфатазы процессы расщепления происходят до тех пор, пока снижение влажности или повышение температуры не приведет

к инактивации ферментов. Так как при пониженной влажности ферменты значительно более стабильны, чем при повышенной, они сохраняются в тем больших количествах, чем ранее из свежепроросшего солода будет удалена вода. Так как к этому моменту прекращается дальнейший рост зародыша корешка, то и продукты расщепления больше не расходуются на создание новой ткани. В результате в зерне накапливаются различные виды сахаров (глюкоза, фруктоза, мальтоза, сахароза). Если с α -аминным азотом каких-либо существенных изменений не происходит, то отдельные аминокислоты ведут себя специфически: так, например, в процессе подсушивания содержание глицина, аламина и аргинина существенно возрастает, а содержание глутаминовой кислоты и амидов постоянно растет с начала подсушивания. При содержании влаги менее 10 % прекращаются и эти реакции, так как ферменты инактивируются. Потеря ферментов тем выше, чем более влажный солод оказывается в области высоких температур. Эти обстоятельства учитывают при различных способах сушки светлого и темного солода. Так, при сушке светлого солода вследствие удаления больших количеств воды на ранних стадиях, то есть при более низких температурах, наблюдаются сравнительно небольшие ферментативные изменения их состава.

Что касается отдельных ферментов, то активность β -амилазы снижается гораздо сильнее, чем α -амилазы, которая в результате повышения активности при подсушивании сохраняет уровень активности, свойственный для свежепроросшего солода. Во время фазы подсушивания при температуре 50 °С наблюдается увеличение содержания эндопептидаз и повышение их эффективности. При

сушке даже при высоких температурах не отмечается какого-либо заметного снижения активности этих ферментов. Экзопептидазы характеризуются значительным повышением активности в процессе подсушивания — лишь дипептидаза инактивируется до такой степени, что ее активность в сушеном солоде ниже, чем у свежепроросшего. Активность аминокислотных карбоксипептидаз, напротив, в сушеном солоде всегда выше, чем в свежепроросшем. Эндо- β -глюканаза во время подсушивания инактивируется не так сильно, а экзо- β -глюканаза инактивируется при температурах выше 50 °С, и в светлом солоде ее активность составляет лишь треть от начального значения. Полифенолоксидазы и пероксидазы очень чувствительны к температуре и значительно инактивируются в ходе подсушивания при температурах выше 80 °С, что впоследствии приводит к повышению содержания антоцианогенов в сусле и пиве.

Каталазы при подсушивании существенно инактивируются, и при температуре 80 °С их активность не обнаруживается. Значительная потеря активности при подсушивании отмечается также у липоксиназ.

Химические изменения при повышенных температурах. При определении растворимого азота конгрессного сусла выявлены большие различия при использовании свежепроросшего и сухого солода (вследствие активного образования протеолитических ферментов при подсушивании и их действия при затирании). При затирании сухого солода происходит не только более сильное расщепление белков, но и явное увеличение содержания высокомолекулярного азота, что объясняется повышенной активностью эндопептидаз и повышением дисперсности коллоидного белка. Хотя у светлого

солода эти изменения не так значительны, как в темном, они влияют на полноту вкуса, пенообразование и стабильность пива. Светлый солод следует высушивать при температуре не ниже 80 °С, а у темного солода в диапазоне температур 100-105 °С отмечается сильная коагуляция белков. Наиболее очевидны химические превращения, вызывающие значительное потемнение эндосперма и придающие отчетливый «жареный» аромат, характерный для типичного темного солода.

Формирование цвета и аромата происходит при температурах свыше 100 °С и влажности около 5 % в ходе реакций сахаров, содержащихся в свежепросошенном солоде, и продуктов расщепления белков (аминокислот, дипептидов и трипептидов). Аминогруппа аминокислоты реагирует с карбонильной группой моносахарида с образованием N-замещенного гликозиламина. Последний подвергается перегруппировке Амадори и становится N-замещенным 1-амино-1-деокси-2-кетонном, находящемся в равновесии со своей энольной формой. Из этого кетона посредством перегруппировки Хейнса получается 2-амино-2-деоксиальдон. Далее возможны два направления реакции, основанные на энол- или кетоформе.

Важным промежуточным продуктом первого направления является 3-дезоксизон, который превращается в фуран путем отщепления воды и циклизации. Из пентоз возникает 2-фурфураль, а из гексоз и гексилос — 5-гидрокси-2-фурфураль и 5-метил-2-фурфураль. В присутствии первичных аминов могут образовываться производные пиррола и пиридина.

Путем 2, 3-энוליзации продуктов перегруппировки Амадори может образовываться 1-дезоксизон, который через соответствующие промежуточные ступени, отщепление воды и циклизацию может

продуцировать γ -пироны (например, мальтол), фураны (например, изомальтол и 2-ацетилфуран) и фураноны (например, фуранол). Эти вещества характеризуются солодовым карамельным ароматом. Именно 4-дезоксизон, который продуцируется путем удаления ОН-связей в 4-й позиции глюкозы, объясняется образование гидроксиацетилфурана и (в присутствии первичных аминов) образование производных гидроксиацетилпиррола и пиридина.

Химическая активность аминокислот возрастает с увеличением расстояния между карбоксильными и аминными группами [679], в связи с чем реакционная способность β -аланина вдвое, а ϵ -аминокапроновой кислоты втрое сильнее, чем α -аланина. Активность основных аминокислот различна [680] — так, скорость реакции глицилглицина при pH 5,5 в 4-8 раз больше, чем глицина, а трипептида — всего лишь в 4,6 раза. Чтобы вызвать реакцию этих аминокислот, необходимо поддерживать температуру сушки темного солода 100-105 °С в течение 5-6 ч.

Для получения при сушке темного солода желаемого цвета и аромата необходимо достаточное содержание низкомолекулярных продуктов расщепления крахмала и белка. Это является теоретическим обоснованием того, почему темный свежепросошенный солод очень долго растворяется и в процессе подсушивания продолжительное время выдерживается при высокой влажности в диапазоне температур 40-60 °С. Продуцирование этих низкомолекулярных продуктов расщепления в необходимом количестве у некоторых сортов ячменя идет с большим трудом. Для изготовления темного солода меньше всего подходит очень бедный белком ячмень.

При простым нагревании свежепросоженного солода можно получить не желаемые ароматические и красящие вещества, а солод с пригорелым, жженым привкусом, способным испортить вкус пива.

При высоких температурах сушки из сахаров образуются N-гетероциклические соединения. Содержание азотистых гетероциклических соединений при повышении температур сушки также возрастает экспоненциально. Как и в случае других продуктов реакции Майяра и альдегидов Штрекера, содержание образовавшихся N-гетероциклических соединений зависит от содержания их предшественников, причем здесь оказывает влияние содержание влаги в материале, проращивание при пониженных температурах и продолжительность проращивания. Если серосодержащая аминокислота, например, цистеин, вступает в реакцию с дикарбонильным соединением, то через несколько промежуточных реакций образуется 2-ацетилтиазоль. К ароматическим веществам, образующимся только при сушке, то есть формирующимся при реакциях Майяра (например, при расщеплении по Штрекеру), относят большинство N-гетероциклических соединений, а также оксазин солода и 5-ацетил-2,3-дигидропирролизин. Ароматическими веществами этой группы, продуцируемыми при термоокислительном расщеплении жирных кислот, являются *транс*-2-нональ и γ -ноналактон.

В кислородосодержащих гетероциклических соединениях, например γ -пиранолах, изомальтоле и фуранеоле, отсутствует атом азота. Многие из этих соединений обладают интенсивным ароматом орехово-попкорнового, картофельного или грибного оттенка. Некоторые из них, например дериваты пролина, приводят также ощущение горечи.

Аромат и пороговое значение его восприятия определяются составом N-гетероциклических соединений, а также положением и количеством серосодержащих групп. Пороговое значение восприятия варьирует от 10 мг/кг до 0,002 мкг/кг.

Таким образом, эти субстанции не всегда желательны. У темного солода желательно присутствие продуктов реакции Майяра, то есть гетероциклических соединений, образующихся в процессе кипячения сусла при повышенных температурах, или при сильной термической нагрузке перед кипячением и после кипячения сусла (см. раздел 2.5.5). Позднее они могут привести к формированию посторонних запахов.

При повышении температуры подсушивания с 75 до 85 °C содержание N-гетероциклических соединений существенно возрастает, особенно пиразинов и 2-ацетилпиррола. Дальнейшее повышение температуры с 85 до 100 °C может привести к увеличению их содержания на 60-300 %. При подсушивании темного солода и температуре сушке 100 °C отмечается еще большее увеличение содержания этих соединений, что обусловлено повышенным образованием аминокислот и сахаров при «томлении» солода.

Следствием образования меланоидинов при подсушивании является снижение содержания инвертного сахара и аминокислот, а также пептидов. При кислой реакции меланоидинов при повышенных температурах подсушивания снижается значение pH солодового экстракта или конгрессного сусла. В образовании аминокислот проявляется также действие фосфатаз, выделяющих неорганические фосфаты из органических фосфорных соединений; кроме того, при повышенных температурах сушки происходит осаждение вторичных и третичных

фосфатов, что проявляется в снижении буферных свойств солода.

Важной в качественном и количественном отношении реакцией является процесс термического расщепления предшественника диметилсульфида (ДМС) S-метилметионина (SMM) на свободный диметилсульфид и гомосерин. Образующийся при расщеплении Штрекера метиональ также может превращаться в ДМС и пропенальдегид. Впоследствии ДМС может преобразоваться в диметилдисульфид. Диметилсульфоксид (ДМСО), другой предшественник ДМС с очень высокой температурой кипения (189 °С), может превращаться в ДМС в результате сильного термического воздействия или при помощи дрожжей и определенных бактерий.

Таким образом, в солоде, высушенном при высоких температурах (90-100 °С), содержится меньше предшественников ДМС, чем в солоде, высушенном при низких температурах. Содержание ДМС в пиве зависит от многих факторов, при этом конечное значение предшественников ДМС определяется свойствами ячменя и интенсивностью сушки. Определенную роль играет и технология приготовления пива (кипячение сусла, его обработка, способы брожения).

В процессе подсушивания содержание антоцианогенов уменьшается в результате действия пероксидазы и полифенолоксидазы, которые их окисляют до высокомолекулярных би- три- и т. п. флаванов. Это характерно, прежде всего, при способах подсушивания при высоких температурах. Таким образом, конгрессное сусло, полученное из такого солода, характеризуется повышенным содержанием полифенолов, особенно антоцианогенов, что приводит к снижению степени (коэффициента) полимеризации

и окрашиванию. Это приходится учитывать и вести сушку светлого солода при температурах 80-85 °С.

Содержание экстракта солода, определенное в лабораторном сусле, с ростом температуры сушки уменьшается. Это обусловлено, во-первых, повышенной коагуляцией белка, и, во-вторых, образованием частично нерастворимых меланоидинов. Кроме того, следует учитывать, что высокие температуры сушки сильнее инактивируют ферменты. Поскольку степень связанных с этим превращений веществ при лабораторном затирании уменьшается, наблюдается снижение выхода экстракта по сравнению с ожидаемым. При хорошем предварительном подсушивании и осторожном нагревании до температуры сушки наблюдаются незначительные различия. Темный солод теряет в процессе подсушивания и интенсивной длительной сушки значительно больше экстракта, чем светлый и среднеокрашенный. Свежевысушенный солод дает худший экстракт, чем хранившийся, так как при сушке происходит частичное поглощение коллоидами гидратационной воды, что способствует появлению опалесценции в конгрессном сусле. В ходе хранения солода при небольшом поглощении влаги снова происходит набухание ранее дегидратированных коллоидов.

При использовании в сушилках серо-содержащего топлива, например кокса, достигается осветление солода, выявляемое по более светлой окраске цветочной оболочки и цветности конгрессного сусла. Последнее объясняется не столько осветляющим действием диоксида серы, сколько блокированием реакционно-способных концевых групп сахаров или продуктов их преобразования — карбониллов и т. д. Сжигание мазута с более высоким содержанием серы (выше 0,2 %) не

приводит к описанному эффекту, зато довольно часто наблюдается частичное потемнение цветочной оболочки солода, известное как «полосатость» или «тигрение». Рекомендуется использовать мазут с низким содержанием серы (менее 0,5 %), хотя специальные конструкции топок позволяют сжигать даже мазут с повышенным содержанием серы, однако из-за более низкого значения рН обычно образуется больше полифенолов и низкомолекулярных продуктов расщепления, вызывающих более сильное потемнение на последующих этапах процесса пивоварения.

При прямом обогреве сушилки в зависимости от используемого топлива могут образовываться нитрозамины (нитрозодиметиламин, *NDMA*). Эти нитрозамины с незначительными потерями (в частности, при кипячении суслу) без изменения попадают в готовое пиво. Содержание образующихся при проращивании предшественников нитрозаминов (диметиламина, этиламина, тирамина, горденина, грамина и др.) зависит от условий проращивания. Другими источниками нитрозаминов являются различные оксиды азота, обозначаемые как NO_x (в основном — NO и NO_2). Эти оксиды при растворении в воде или жирах солода дают N_2O_3 и N_2O_4 . Растворенные NO_x находятся в равновесии с нитратами и нитритами, из которых они продуцированы. Содержащийся в топочном газе NO_2 нитрифицирует, например, горденин при подсушивании. Это азотсодержащее соединение далее распадается до нитрозодиметиламина. Содержание серы в сгораемом материале (например, в коксе, в определенных сортах жидкого топлива) путем блокирования реакции нитрификации вызывает последующее снижение содержания *NDMA*. Наряду со

снижением уровня нитратов в сушильном воздухе удачными оказались попытки снизить содержание аминов в свежепроросшем солоде путем изменения условий солодоращения, применив сокращенную его продолжительность, насыщение технологического воздуха CO_2 или подсушивание корешков зародыша к концу процесса солодоращения. Эффективным оказалось опрыскивание проращиваемого зерна раствором сахара за 24 ч до выгрузки свежепроросшего солода. Наилучшим решением являются косвенные системы обогрева сушилки, разработанные с учетом описанной проблематики.

К присутствующим в окружающей среде веществам, способным попасть в продукт с сушильным воздухом, относятся и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Подозрения, что использование сушилок с прямым обогревом может привести к повышенному содержанию этих веществ в солоде, относительно 3, 4-бензпирена не подтвердились.

Содержание SO_2 в солоде при сжигании сжиженного или природного газа составляет 1,5-8 мг/кг, легкого нефтяного топлива (содержание серы 0,2-0,5%) — 5-10 мг/кг, а кокса (содержание серы около 0,9%) — 20-23 мг/кг. Судя по результатам многочисленных исследований, содержание SO_2 в солоде не оказывает существенного влияния на содержание диоксида серы в пиве.

1.6.2. Сушилки

При подсушивании (подвяливание) и сушке свежепроросшего солода используются сушилки солода, в которых через материал пропускается сушильный воздух. Сушилки по конструкции можно классифицировать следующим образом:

- по размещению и числу ярусов — горизонтальные с одним, двумя или тремя ярусами; вертикальные с несколькими ярусами (прямоугольные или круглые);
- по высоте загрузки — обычные и высокопроизводительные;
- по комбинированию с солодорастильными системами: солодорастильно-сушильные ящики (так называемые стационарные или статические солодовни), стационарные башенные и круглые солодовни и т. д.;
- по виду систем отопления — с косвенным нагревом, при котором осушающий воздух нагревается от теплообменных поверхностей, и с прямым нагревом, при котором газы, образующиеся при горении, смешиваются с сушильным воздухом и пропускаются непосредственно через свежепросошенный солод;
- по виду топлива или виду теплоносителя — на коксе, антраците, газе, жидком топливе, паре, горячей воде и т. д., но при указании вида топлива имеет значение тип отопления сушилки — прямой или косвенный.

1.6.2.1. Высокопроизводительные одноярусные сушилки являются наиболее распространенной конструкцией сушилок. Характерная особенность этих сушилок — это значительная высота слоя солода (0,6-1 м) и высокая удельная нагрузка на поверхность решетки (250-400 кг/м²). На опрокидывающейся поверхности решетки производится как подсушивание (подвяливание), так и сушка. Поверхность для размещения солода в сушилке представляет собой решетку, устойчивую к боковым деформациям, со значительной площадью живого сечения — до 30-40 %. Примыкающие друг к другу участки решетки устанавливают на опорном каркасе из металлических рам, закрепленных

на несущих металлических опорах. Сушильная решётка крепится к несущим стенкам с учетом температурных деформаций. В большинстве случаев применяются опрокидывающиеся решетки, которые поворачиваются с помощью наклонного вала. Решетки могут состоять из одной или двух частей. В первом случае необходима большая высота помещения, а бункер для солода размещается возле стены сушилки, а во втором случае бункер или транспортер размещают в центре пространства, куда подается сушильный агент. Соответственно по-разному устраиваются технологические проходы.

В вентиляционные установки сушилки входят вентилятор, шахты для свежего, рециркуляционного и отводимого воздуха и устанавливаемые в них заслонки. Выходное отверстие для выпускаемого из сушилки воздуха должно быть расположено на такой высоте, чтобы насыщенный водяными парами газ не мог попасть в отверстие для забора свежего воздуха. Сушильный воздух проходит через материал, расположенный на решетке, и отводится в особый воздуховод, образующий с каналом для рециркуляционного воздуха общую шахту. Расход и отвод воздуха регулируются с помощью специальной жалюзийной заслонки.

С помощью вентилятора воздух засасывается прямо из шахты свежего или рециркуляционного воздуха и нагнетается в ресиверную емкость (или помещение), работающую под небольшим давлением и предназначенную для снижения давления подаваемого вентилятором воздуха и более равномерного распределения его под ситом. Объем ресиверной емкости или помещения зависит от площади сушилки и наличия устройств, которые включают бункер для солода и транспортные устройства для сухого солода.

Дополнительная установка ресиверной емкости или устройство специального помещения оказывают относительно небольшое влияние на равномерность процесса сушки, нарушаемую не столько неравномерностью подачи воздуха, сколько неравномерностью загрузки солода.

Размер выходного отверстия вентилятора определяется площадью поверхности сит. В процессе сушки оно перекрывается распределительной заслонкой, направляющей подводимый теплый воздух к материалу и обеспечивающей равномерное распределение давления. Отклонения в давлении можно уменьшить с помощью установки перфорированной отражающей плиты, позволяющей производить асимметричное нагнетание теплоносителя в ресиверную емкость или помещение. Выходное отверстие для воздуха находится в боковой стене. Во избежание застоя воздуха верхний край отверстия должен примыкать к перекрытию. Высота помещения над ситом определяется площадью поверхности опрокидывающегося сига. Помещение над ситом имеет плоское перекрытие, которое тщательно теплоизолируют (особенно если оно является верхним перекрытием здания). Доступ во все помещения сушилки обеспечивается через двери с надежным уплотнением. Для выравнивания или сброса давления при входе ресиверное помещение оборудуется шлюзом с двумя дверями.

Вентилятор создает давление, которое в зависимости от высоты слоя солода, встроенных элементов и размеров сушилки может составить 60-200 мм вод. ст. Производительность вентилятора составляет 2500-3000 м³ воздуха/кВт ч. Для подсушивания светлого солода потребляется 4000-5000 м³ воздуха/т солода; при сушке расход воздуха снижают

до 2300-2700 м³ воздуха/т солода. Регулировать расход воздуха можно путем уменьшения свободного сечения отверстий для свежего или выпускаемого воздуха, но, как правило, изменяют частоту оборотов электродвигателя с помощью регулирующего сопротивления. Изменяющуюся при подсушивании и сушке потребность в воздухе можно регулировать также путем установки двух электродвигателей, работающих либо одновременно, либо поочередно с определенной частотой вращения. Для поддержания в ресиверном помещении постоянной температуры в него нагнетается подогретый воздух. Производительность этого вентилятора составляет 3200 м³/т ч.

Отопительные устройства. В сушилках применяют различные отопительные устройства. При прямом отоплении (например, в сушилке, обогреваемой коксом) вентилятор засасывает свежий или рециркуляционный воздух через слой сгорающего топлива. При этом происходит перемешивание воздуха с продуктами сгорания, после чего смесь нагнетается в ресиверную камеру. Температура регулируется с помощью чувствительных термостатов. Минимальная теплотворная способность кокса составляет около 29 300 кДж/кг (7000 ккал/кг). В нем содержится примерно 0,9% серы, и при сжигании около 130 кг кокса/1 т солода одновременно сжигается 1,2 кг серы.

Отопление мазутом требует соблюдения специальных требований к оборудованию котельных. В одной из их конструкций предусматривается двойная обшивка металлическими листами, через которую пропускается весь сушильный воздух. Благодаря этому исключается раскаливание соприкасающейся с прямым пламенем рубашки и достигается хорошее перемешивание воздуха с газообразными

продуктами сгорания. Теплотворная способность среднего или легкого мазута составляет 39 800-42 700 кДж/кг (9500-10 200 ккал/кг).

Хорошо себя зарекомендовало *отопление газом* — природным (преимущественно метаном) и сжиженным (бутаном). Минимальная теплотворная способность природного газа составляет 29 300-30 600 кДж/м³ (7000-9000 ккал/м³), сжиженного — 83 400 кДж/м³ (20 000 ккал/м³). При сгорании минерального топлива образуются многочисленные продукты сгорания — например, водяной пар, двуокись серы, зола, пыль, угарный газ, оксид азота, а также диоксид углерода. При полном сгорании природного газа коэффициент эмиссии диоксида углерода невелик. У жидкого топлива этот коэффициент больше, чем у природного газа, а у твердого — больше, чем у сжиженного. Так как при сжигании образуется вода, то осушающее действие воздуха снижается, что особенно сказывается при низких значениях влажности в конце подсушивания. При необходимости долю свежего воздуха при сушке следует увеличить примерно на 10 %.

Непрямое отопление предусматривает наличие нагревающих устройств с большими поверхностями теплообмена (калориферами), от которых нагревается воздух. В качестве топлива могут быть использованы различные виды горючего, в том числе и такие, которые из-за их состава не используют в системах с прямым отоплением во избежание прямого контакта с солодом. Вследствие напряженного теплового режима особое внимание уделяют герметичности системы отопления. Нагрев воздуха через теплообменники требует повышенного расхода электроэнергии и топлива из-за потерь при теплопередаче и сжигании горючего.

В новых конструкциях отработанный газ по стальным трубам направляется в многочисленные отделения, где газ охлаждается до 50 °С, благодаря чему происходит конденсация водяного пара. В этих обогревательных устройствах можно применять топливо с максимальной теплотой сгорания, что позволяет достичь КПД сушилок с прямым отоплением.

Более простыми являются системы отопления с использованием горячей воды температурой около 110 °С (для подсушивания) и 140-160 °С (для сушки) или пара. Для подсушивания применяют также пар под давлением 0,15-0,2 МПа (для сушки требуется давление пара 0,5 МПа).

Одноярусные сушилки самых разных модификаций хорошо зарекомендовали себя на практике — они просты в обслуживании, а управление процессом сушки может быть полностью автоматизировано. Продолжительность подсушивания и сушки как светлого, так и темного солода составляет 19-21 ч.

Потребность в энергии зависит от высоты слоя загружаемого материала: при прямом отоплении она меньше (25-40 кВт · ч), чем при непрямом (33-48 кВт · ч/т готового солода). Это же относится и к расходу тепла: для прямого отопления и для описанных выше обогревательных устройств с низкими температурами отводимых газов — 3,35-4,40 · 10⁶ кДж/т (0,8-1,05 · 10⁶ ккал/ч), а для отопления горячей водой или паром (вследствие потерь в паровом котле) — 4,0-4,6 · 10⁶ кДж/т готового солода (0,95-1,1 X 10⁶ ккал/т).

1.6.2.2. Двухъярусные сушилки высокой производительности. Желание лучше использовать отводимую от сушки теплоту при нагревании и сушке и возможность использовать ее для нагрева воздуха для

подсушивания привело к появлению многоярусных сушилок. Сита в них располагают друг над другом или одно за другим. В последнем случае речь идет о так называемых «сушилках с рециркуляционным воздухом» — материал остается в них на той же решетке в течение всего времени подсушивания и сушки. В высокопроизводительных двухъярусных сушилках с ситами, расположенными друг над другом, в первых конструкциях конца 1970-х — начала 1980-х гг. в конце подсушивания продукт перекачивался с верхнего сита на нижнее.

В двухъярусной сушилке с решетками, расположенными друг над другом, чаще всего используют круглые решетки — поворотные (опрокидывающиеся) со стационарными погрузочно-разгрузочными устройствами или стационарные, с вращающимися погрузочно-разгрузочными шнеками. Удельная нагрузка составляет примерно 350 кг готового солода/м² поверхности решеток, что соответствует 435 кг солода в пересчете на свежепросушенный. Воздух для сушки в этой конструкции подается на решетку по каналу свежего воздуха через теплообменник и каскадный нагреватель. Вентилятор расположен между нижней и верхней решетками и нагнетает воздух с добавлением предварительно нагретого свежего воздуха через решетку для подсушивания. Для предварительного нагрева свежего воздуха до заданной температуры используют или противоточный теплообменник, или нагревательные элементы. Продолжительность подсушивания и нагрева составляет 19-20 ч за вычетом времени загрузки, выгрузки и охлаждения. Чтобы на верхней решетке гарантировать полное высыхание, необходим вентилятор с удельной мощностью 3200 м³/т готового солода в час. Производительность

вентилятора можно регулировать до 50 %, хотя воздушный поток для верхней и нижней решеток регулируется путем добавления нагретого воздуха соответственно потребностям подсушивания и сушки. Удельная теплоотдача при сушке составляет у противоточного теплообменника 2100-2300 МДж (500-550 Мкал)/т готового солода, а среднегодовая потребность в электрической энергии — 45-50 кВт · ч/т готового солода

В старой конструкции предусмотрены 2 системы нагнетательной вентиляции: первая пропускает нагретый воздух через решетку (мощность 2500-3000 м³/т в час), а вторая пропускает воздушные массы из пространства под решеткой, смешанные с нагретым воздухом, через второй теплообменник мощностью 3800 м³/т в час (до температуры подсушивания). Оба вентилятора регулируются ступенчато.

Загрузка таких сушилок производится механически транспортирующим устройством для свежепросушенного солода. Разравнивание материала осуществляется горизонтальным шнеком с регулировкой высоты слоя. Подсушенный солод этим же устройством перегружается на нижнюю решетку.

Двухъярусные сушилки с рядом лежащими, прямоугольными или квадратными решетками называют также «сушилками с рециркуляцией воздуха» с одинаковыми решетками, оснащенными погрузочно-разгрузочным устройством. Благодаря передвижной платформе это устройство может перемещаться от одной решетки к другой. Воздух с регулируемой температурой нагревается в калорифере и продувается через решетку. Мощность вентилятора в этом случае ниже, чем у вышеописанных сушилок с перемещением солода, так как зерно в ходе всего процесса подсушивания и сушки неподвижно (и, следовательно,

образованные при сушке слои не нарушаются); удельная мощность вентилятора составляет, как правило, $1500 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{т}$ готового солода. Отводимый от решетки сушки воздух поступает в шахту отработанного воздуха снизу и отводится вентилятором определенной мощности ($2500 \text{ м}^3/\text{т}\cdot\text{ч}$). Для обеспечения большего количества воздуха для подсушивания рециркуляционный воздух смешивают со свежим воздухом, нагретым в теплообменнике, после чего смесь в теплообменнике доводят до определенной температуры. Оба вентилятора оснащены ступенчатым регулятором числа оборотов, управляемым от компьютера в зависимости от влажности свежепоросшего солода на решетках, а также от желаемого типа солода. Удельная потребность в теплоте составляет $2100\text{-}2300 \text{ МДж}/1 \text{ т}$ готового солода ($500\text{-}550 \text{ Мкал}/1 \text{ т}$). Потребность в электрической энергии составляет $30\text{-}35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$. Перепад давления, преодолеваемый сушильным воздухом при прохождении через решетку подсушивания, составляет 1500 Па , а через решетку сушки — $600\text{-}800 \text{ Па}$. Удельная нагрузка составляет $330\text{-}400 \text{ кг}$ готового солода $/\text{м}^2$.

Поступление свежепоросшего солода осуществляется или через поворотный трубопровод, или через винтовой транспортер. Преимуществом такого устройства является однородная и равномерная плотность засыпи и равномерность распределения воздушных потоков. Разгрузка солода происходит или вдоль, или поперек вращения шнека на лотковый цепной транспортер. По сравнению с опрокидывающейся решеткой при этом требуется меньшая высота помещения.

В сушилке *Triflex* для проведения подсушивания также используется отработанный воздух от решетки сушки [734]. В данном случае речь идет о трех

одинаковых, независимых одноярусных сушилках, каждая из которых снабжена вентилятором, независимым устройством отопления, а также вытяжкой и каналом для рециркуляционного воздуха. Последний подводит отработанный воздух от сушильной решетки к следующей решетке подсушивания. Две решетки загружаются свежепоросшим солодом одновременно — на одну 45 %, на другую 55 % общей массы свежепоросшего солода. Сушилка, загружаемая в первую очередь с удельной загрузкой 409 кг солода в пересчете на свежепоросший (328 кг готового солода) работает по 20-часовому циклу, для чего вентилятор должен обладать удельной мощностью $3500 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 т готового солода. Сушилка, загружаемая во вторую очередь, с удельной загрузкой $500 \text{ кг}/\text{м}^2$ площади сита в пересчете на свежепоросший (400 кг готового солода) работает $32\text{-}33 \text{ ч}$. После 14 ч пребывания в сушилке А делается пауза, и восстановленный на $2/3$ воздух ($2300 \text{ м}^3/\text{т}\cdot\text{ч}$) нагревается вместе со свежим воздухом до температуры подсушивания. Отработанный воздух сушилки В тем временем разделяется на вновь загруженные сушилки для подсушивания С (45 %) и А (55 %). Отработанный воздух подводится затем к теплообменнику, и тем самым достигается высокий КПД. После окончания сушки солод охлаждается холодным свежим воздухом, а отданная при этом теплота отводится к воздуху для сушки. Удельное потребление тепла в такой сушилке составляет $2000\text{-}2100 \text{ МДж}/1 \text{ т}$ готового солода ($480 \text{ Мкал}/1 \text{ т}$), а удельное электропотребление в среднем за год — $26 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/1 \text{ т}$ готового солода.

1.6.2.3. Солодорастильно-сушильные ящики.
В последние десятилетия внедрен целый

ряд хорошо зарекомендовавших себя конструкций, и мы остановимся на двух основных из них.

Прямоугольный солодорастильно-сушильный ящик по своему принципу соответствует солодорастильному ящику с учетом длинного пути воздуха для сушки, который благодаря соответствующему расположению выпускных отверстий на противоположной стороне или в нижней части ящика равномерно проходит через весь слой зерна. Высота подситового пространства составляет 2,9-3,2 м. Удельная нагрузка секций (вместимостью 130-170 т) — 500-630 кг/м². Такие ящики изготавливают из сборных бетонных конструкций с учетом возникающих температурных напряжений (для чего применяют гибкие уплотнения). Для изоляции пространства между ящиками предусматривают элементы из газобетона. Сушильную решетку изготавливают из оцинкованных перфорированных листов металла или в виде сушильной решетки со щелевыми отверстиями.

Обычный шнековый ворошитель используется, как правило, только во время проращивания и служит также для разгрузки высушенного солода. После прорастания зерна необходим проход ворошителя по всей ширине слоя материала для выравнивания верхнего менее проросшего слоя и создания одинаковых условий сушки для всей партии. Ворошение в процессе подсушивания и сушки способствует ускоренному просыханию, препятствует образованию уплотненных слоев, обеспечивает лучший контакт влажного свежепроросшего солода с горячим воздухом, но неизбежным следствием ворошения на этих этапах является сморщивание солода.

В современных прямоугольных солодорастильно-сушильных ящиках применяют

поперечный шнек, располагаемый немного выше сушильной решетки. Шнеки-ворошители системы *Saladin* перемещают солод более бережно, чем поперечные шнеки. При этом минимизируется истирание ростков и их отходы под сушильной решеткой. Материал подается на горизонтальный транспортер вдоль продольной стороны ящика. Продолжительность разгрузки соответствует длительности прохода ворошителя.

Вентиляция прямоугольных солодорастильно-сушильных ящиков осуществляется с лицевой стороны. При непрерывном ведении проращивания и сушки продолжительность обоих процессов может составить всего 24 ч. Обычно продолжительность подсушивания (подвливания) и сушки составляет не более 33 ч, в связи с чем необходимы установки для отопления и вентиляции сушилки, рассчитанные на 4 ящика. Такое увеличенное время сушки позволяет снизить подачу воздуха примерно до 3000 м³/т солода в час, благодаря чему потребность в энергии, несмотря на высокую загрузку, может составить 40 (кВт · ч)/т солода. Расход тепла на тонну солода составляет в среднем около 3800 МДж или 900 Мкал на 1 т солода. Следует отметить, что прямоугольные солодорастильно-сушильные ящики частично оборудуются типовыми ящиками с ситами, площадь живого сечения которых составляет около 20 %. Этого может оказаться недостаточно для подвода тепла и является недостатком таких моделей. В других типах ящиков предусмотрены обычные сита с площадью живого сечения 30-40 %.

Вентиляционные устройства используются те же, что и в высокопроизводительных одноярусных сушилках. Они состоят из канала свежего воздуха, шахты

рециркуляционного воздуха и устройства для отвода отработанного воздуха. При использовании вентиляторов более высокой производительности можно сократить продолжительность подсушивания и сушки.

Сокращение фазы подсушивания до 28 ч в целях более эффективного использования периода проращивания обычно связано с необходимостью форсирования процесса подсушивания по расходу воздуха и температурному профилю. Так, например, производительность вентилятора увеличивают до $3000 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{ч}$, что вызывает повышение потребления энергии. Дальнейшее сокращение процесса подсушивания и сушки при добавлении дополнительных ящиков (до 6) требует проведения суточной сушки, что позволяет поддерживать 24-часовой ритм (при подсушивании требуется производительность $3300\text{-}3700 \text{ м}^2/\text{т} \cdot \text{ч}$). Необходимость экономии энергии привела к объединению двух растительно-сушильных ящиков, причем воздух, отводимый из одного ящика после «прорыва», служит для нагревания воздуха для подсушивания в следующем ящике. Для этого требуется воздуховод рециркуляционного воздуха, еще одна группа вентиляторов, а также дополнительная система отопления для нагревания смеси свежего и рециркуляционного воздуха для подсушивания. Общая продолжительность подсушивания и сушки составляет, в зависимости от отдельного цикла $2 \cdot 24\text{-}28 \text{ ч}$.

Если загрузка описанных выше ящиков производится из традиционной установки для замачивания или так называемым «моющим шнеком», в другом типе сушильно-растительных ящиков вместимостью 300 т используется иной принцип. Ящики объемом 630 м^2 с помощью редлера загружают зерном сухим способом

(загрузка длится 5 ч), материал выравнивают и интенсивно увлажняют устройством орошения, установленным на ворошителе. При этом скорость перемещения ворошителя составляет всего $0,2 \text{ м/мин}$. Спирали ворошителя перемешивают воду и зерно со скоростью 42 об/мин . Вода подводится по лотку, располагаемому вдоль стенки ящика. При последующих циклах орошения каретка ворошителя перемещается быстрее, а шнеки, наоборот, вращаются медленнее. Такое увлажнение очень эффективно (общий расход воды составляет $0,9 \text{ м}^3/\text{т}$, лишь на $30\text{-}40 \%$ выше теоретического). Вентиляционные установки (5 вентиляторов общей производительностью $600 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{ч}$) обеспечивают хорошее распределение воздуха по всей длине ящика. Для сушки 6-ти вентиляторов (общей производительностью по воздуху $3800 \text{ м}^3/\text{т}$ солода $\cdot \text{ч}$) устанавливаются в машинном зале. Обогрев производится 6-ю калориферами с газовым отоплением. Разгрузка солода выполняется через 5-6 ч при помощи устройства, в котором материал наклонным шнеком перемещается на транспортер. Рабочий цикл таких крупных секций составляет: 2 сут на замачивание, 5,5-6 сут на проращивание и 11,5 сут на сушку. Разгрузка и загрузка занимают один рабочий день.

Круглые солодорастильно-сушильные ящики бывают одно- и многоярусной конструкции. В целях рекуперации и экономии энергии их разделяют на собственно солодорастильные ящики и сушилки двухъярусной конструкции. Интересным решением в этих солодорастильно-сушильных ящиках является то, что сушильный воздух направлялся по центральному каналу через ряд изолированных, плотно закрывающихся задвижек под сушильную решетку, предназначенную для подсушивания. Длина такого воздуховода

невелика (например, в секциях на 200 т свежепросоженного солода — около 8 м). Рециркуляционный сушильный воздух отводится по отдельному воздуховоду. Еще один воздушный канал предназначен для нагревания свежзамоченной растительной грядки влагонасыщенным воздухом, отводимым в процессе подсушивания.

Аналогичный принцип используется в одноярусной системе *Unimalzer*, где сушильный воздух также подводится извне. Эту систему выпускают как в виде небольших секций (на 3 т), так и крупных модулей (на 200 т).

В большинстве рассмотренных типов солодорастильно-сушильных установок проращивание ведется по тем же принципам, что и в системе *Saladin*. Как мы уже отмечали, после замачивания (в течение 1-2 сут) загрузка производится мочным шнеком или «сухим» способом. И в том и другом случае продолжительность пребывания зерна в солодорастильно-сушильном ящике увеличивается. Рекомендуется после 1 сут замачивания (21-26 ч) выгружать замоченный материал влажностью 38 % и ожидать прорастания следующие 12-24 ч в хорошо нагретой от предыдущей сушки атмосфере помещения для проращивания, после чего провести целенаправленное орошение до влажности 45-47 %. Таким образом, в течение почти 5,5 сут. можно получить свежепросошенный солод вполне удовлетворительного качества, то есть процесс проращивания вместе с подсушиванием хорошо укладывается в недельный ритм.

Стационарные (статические) солодовни, как и рассмотренные растительно-сушильные ящики, позволяют загружать партии ячменя порядка 150-300 т. Несмотря на все недостатки, отсутствие операции транспортирования свежепросоженного солода имеет

положительное значение, однако следует учитывать, что (по крайней мере у прямоугольных солодорастильно-сушильных ящиков) выгрузка замоченного материала и сушеного солода требует затрат времени и средств.

Солодорастильно-сушильные ящики являются логическим продолжением конструкции известных «башенных» солодовен, где имеются большие мощности для замачивания. Добавление лишь одного солодорастильно-сушильного ящика требует сооружения комплектной сушильной и вентиляционной установки, экономическая эффективность которой может быть достигнута только в случае ее последующего расширения.

1.6.2.4. Системы солодоращения непрерывного действия. Из старых солодовен непрерывного действия и небольшой производительности, которые в настоящее время интересны только как образец инженерно-технической мысли, на некоторых крупных солодовнях смогла утвердиться система *Saturn*. Она состоит из двух аппаратов для замачивания, одной внешней кольцевой решетки для проращивания и одной внутренней решетки для сушки. Суточная производительность ее последней модификации составляет 200-240 т зерна.

Прямоугольные замочные аппараты глубиной 3 м загружаются транспортным устройством с регулируемой скоростью (средняя производительность — 10-12 т/ч), в них добавляется вода, и в течение 5-7 ч зерно перемешивается с водой. Благодаря продувки сжатым воздухом достигается эффект очистки. Затем материал перекачивают в следующий замочный аппарат и воду заменяют свежей. Здесь процесс замачивания повторяется, и через 5-7 ч материал перегружают на внешнюю

кольцевую решетку для прорашивания, отводя воду через вибросито. Эта решетка общей площадью 1650 м² разделена на четыре секции (секции I и IV вдвое меньше секций II и III). Производительность вентиляционных установок для меньших секций составляет около 300 м³/т · ч, а для больших — около 700 м³/т · ч. Кольцевая решетка вращается при помощи гидравлических устройств (продолжительность одного оборота в зависимости от требуемого качества солода составляет от 2 до 15 сут, как правило, 6-7 сут). Охлаждение производится смесью свежего и рециркуляционного воздуха, а нужная температура достигается с помощью холодной воды. По окружности кольцевой решетки смонтированы 7 шнековых ворошителей с распылительными форсунками, позволяющими осуществлять последовательное повышение влажности проращиваемого материала.

Свежепроросший солод перегружается шнеком в соседнее сушильное отделение, занимающее на внутреннем кольце площадь 4600 м², за один оборот которого в сутки высушивается 350-450 кг готового солода/м². Сушильная решетка разделена на четыре секции (температурные зоны); дополнительная секция служит для охлаждения солода, а еще в одной секции происходит выгрузка свежепросоженного солода. Секции сушки I и II больше по размеру (в них производится подсушивание, производительность по воздуху — 250 000 м³/ч), чем зоны III и IV, где меньшее количество воздуха (100 000 м³/ч) нагревают до температуры сушки. Отводимый из зоны IV сухой воздух направляют обратно в секции подсушивания (в зависимости от влажности воздуха секции III эту операцию можно осуществить и с отводимым из нее воздухом).

К преимуществам такой системы солодоращения относят относительно низкую производительность транспортирующих устройств (8-10 т/ч), возможность выбора параметров вентиляционных, охлаждающих и нагревающих установок в соответствии с той или иной секцией прорашивания и сушки, возможность экономии энергии и воды, а также простоту автоматизации отдельных процессов. При этом следует учитывать, что в таких установках перерабатываются крупные партии гомогенного ячменя. Переход к изготовлению солода иного качества осуществляется изменением условий прорашивания, а переход от одного типа ячменя к другому (например, от двухрядного на многорядный) осуществляется путем изменения скорости вращения кольцевых сит.

1.6.2.5. Сушилки непрерывного действия.

В целях экономии энергии и прежде всего равномерного расхода тепла в 1980-е гг. были разработаны новые типы сушилок непрерывного действия, но практическое применение нашла лишь вертикальная сушилка фирмы *Lausmann*.

Параллельно расположенные сушильные шахты оснащены обычными профилированными решетками с несущими рамами, причем модули соединены друг с другом. Шахты разделены на 3-4 секции, соответствующие отдельным фазам сушки, между которыми имеются зоны, принимающие на себя давление столба солода и служащие выравниванию процесса удаления влаги внутри зерна. Сушка осуществляется сверху вниз — из ящика для прорашивания через бункер в шахту для сушки так, что воздух для подсушивания контролируемо удаляется. Вентиляция осуществляется сквозь слой солода. По сравнению с описанными установками

в вертикальных сушилках периодического действия слой солода всегда продувается только в направлении отвода сушильного воздуха. Отработанный воздух из секции 4, нагретой до 80–82 °С, направляется вновь к фронтальной стенке участка сушки 3, где он, смешиваясь со свежим нагретым воздухом, нагревается до требуемой температуры 70–72 °С и проходит через солод. Отработанный воздух из этой зоны подводится к стороне входа воздуха зоны подсушивания, смешивается со свежим воздухом и разделяется на два потока, — в зону 2 с температурой 60–62 °С; в зону 1 с температурой 50–55 °С. Из них отработанный воздух покидает сушилку в насыщенном состоянии с температурой 26–28 °С и поступает в теплообменник для сушки, где отдает тепло подводимому потоку свежего воздуха. Эта система полностью автоматизирована, при этом регулируемый параметр (температура отводимого воздуха зоны 3) меняется 4 раза в час в зависимости от процессов загрузки и разгрузки. Сначала эта температура составляет 42 °С, а после загрузки немного снижается из-за сильного испарения воды; затем в течение 15–17 мин она вновь достигает значения 42 °С. Сушилка оснащена 4-мя воздушными калориферами, которые отрегулированы на температуры 80, 70, 60 и 50 °С (с возможными вариантами). Удельный расход воздуха возрастает (из-за смешивания с нагретым свежим воздухом) с 1500 м³/ч на 1 т готового солода в фазе сушки до 3000 м³/ч на 1 т. Нагрев воздуха обеспечивается не только теплообменником, но и отводимым от секции охлаждения высушенного солода теплом.

Для выработки теплоты используются два модуля блочных термоэлементов с газовым двигателем, два компрессорных

тепловых насоса с газовым двигателем и один бойлер с газовым отоплением. Дополнительно имеется возможность обогревать вертикальную сушилку теплом, подаваемым по сетям централизованного теплоснабжения. Газовый двигатель отдает частичную теплоту двигателя и отработанного газа в систему подачи горячей воды, обогревающей вертикальную сушилку. Конденсатор компрессорного теплового насоса с газовым двигателем нагревает подогретый свежий воздух из теплообменника, а испаритель теплового насоса служит для производства холода для солодорастильного ящика. Удельный расход тепла с параллельной работой энергосистем составляет в среднем в год около 1950 МДж/1 т готового солода (450 Мкал/1 т), а общий удельный расход электроэнергии — около 35 кВт/1 т готового солода.

1.6.2.6. Многоярусные сушилки. С 1940-х гг. многоярусные сушилки строились лишь в отдельных случаях и сегодня встречаются на крупных предприятиях относительно редко. Поэтому мы рассмотрим лишь основные элементы конструкции новых многоярусных сушилок. Размещение нескольких решеток друг над другом требует возведения высоких зданий башенного типа сравнительно небольшого поперечного сечения, а также разработки отопительной и вентиляционной систем. Обогрев сушилок производится в результате сжигания топлива с теплотворной способностью около 20 000 кДж/кг (4700 ккал/кг). Используются в основном жидкое и газовое топливо, а также нагревательные элементы для нагрева пара или воды. Образующиеся в результате сгорания газы отводятся вверх по облицованному шамотным кирпичом каналу в тепловую камеру и оттуда

направляются в трубы теплообменника, поверхность которых является греющей поверхностью сушилки. Отношение площади поверхности нагревателя к площади поверхности сушилки колеблется в зависимости от производительности, конструкции и назначения сушилки от 2,5 до 8 : 1. Высота тепловой камеры имеет большое значение, поскольку от нее зависит высота естественной тяги нагретого воздуха. В зависимости от производительности и конструкции сушилки высота нагревательной камеры может быть разной. Расход воздуха регулируется с помощью заслонки.

Сушильные решетки располагаются одна над другой, и в зависимости от их числа сушилки бывают двух- и трехъярусными. Почти повсеместно применяемые в современных сушилках профилированные решетки имеют площадь перфорации 30-40 %. Решетки, изготовляемые из перфорированных листов, используют главным образом для приготовления темного солода. Высота пространства над нижним ситом — 2-3 м, над верхним 4-8 м (большая высота применяется для производства светлого солода). Заканчивается это помещение вытяжным каналом — широкой каминообразной надстройкой высотой 6-10 м. Канал снабжен поворотной шлемообразной насадкой, гарантирующей беспрепятственный выход водяных паров.

Тяга и расход необходимого для сушки свежепросоженного солода воздуха в значительной степени зависят от расстояния между верхним краем нагревательных труб и выходом из вытяжного канала, загрузки на 1 М² площади сушилки, температуры и влажности наружного воздуха. Производительность вытяжных вентиляторов составляет 1500-2000 м³/ч на 1 т солода. Они оснащаются регуляторами,

служащими для изменения подачи воздуха на различных стадиях сушки. Потребление электроэнергии составляет 10-12 (кВт · ч)/т солода.

Горизонтальные сушилки с несколькими ярусами снабжаются отдельным лопаточным ворошителем с шириной захвата 80-100 см. На нижнем ярусе устанавливается ворошитель с зубьями, что обеспечивает большую степень разрыхления материала. При большой загрузке верхний ярус оснащается ворошителем системы *Saladin*.

Основные показатели производительности многоярусных горизонтальных сушилок приведены ниже.

Площадь сушки на одном ярусе	10-200 м ²
Загрузка верхнего яруса (в пересчете на сухой солод)	30-200 кг/м ²
Высота загружаемого слоя материала и удельная нагрузка при получении светлого солода:	
без вентилятора	30-40 кг/м ²
с вентилятором (при загрузке 200 кг/м ²)	60-70 кг/м ²
Высота загружаемого слоя материала и удельная нагрузка при получении темного солода:	
без вентилятора	60-70 кг/м ²
Продолжительность сушки:	
для светлого солода	2 - 12 ч или 2 - 24 ч
для темного солода	2 - 24 ч
в двухъярусной сушилке	3 - 12 ч или 3 - 16 ч
Расход тепла (в среднем за год)	5000 кДж/т готового солода (1200 Мкал/т)
в трехъярусной сушилке	на 15% меньше

В вертикальных сушилках, получивших распространение в 1930-е гг., солод располагается узкими и высокими слоями

между двумя вертикальными решетками, расположенными на расстоянии 20 см одна над другой. Таких секций (шахт) в одной сушилке может быть от 4 до 8. Шахты для солода и расположенные между ними воздушные шахты разделяются с помощью промежуточных перекрытий. Снабжение сушильным воздухом осуществляется через воздушные форсунки или шиберы, что обуславливает увлажнение уже высушенных партий, которые при сушке достигают определенную твердость и стекловидность. Энергопотребление 24-часовой (двухъярусной) или 16-часовой (трехъярусной) сушилки довольно низкое.

1.6.3. Процесс сушки

При сушке светлого и темного солода используют регулирование температуры, изменение мощности вентиляторов, применяют свежий и рециркуляционный воздух, а также ворошение материала на различных стадиях сушки.

1.6.3.1. Сушка светлого солода в одноярусной высокопроизводительной сушилке. Поступающий на сушку свежепоросший светлый солод обладает рядом свойств, которые в зависимости от применяемого способа солодоращения могут изменяться (влажность — от 43 до 48 %, температура — от 12 до 20 °С). Светлый свежепоросший солод должен обеспечивать хорошее равномерное растворение зерна и накопление протеолитических и цитолитических ферментов, но в меньших количествах, чем темный солод.

Для получения светлой окраски влажность солода при подсушивании должна понижаться как можно быстрее — это ингибирует дальнейшее действие ферментов. Свежепоросший солод влажностью

около 43 % легко отдает влагу, так как давление водяного пара на его поверхности такое же, как на свободной поверхности воды. Влага из зерна под действием капиллярных сил переходит из внутренних зон с более высокой температурой в поверхностные зоны, охлаждающиеся вследствие испарения свободной воды. Замедление поглощения воды воздухом начинается лишь ниже граничного уровня влажности («критическая» влажность солода, точка гигроскопичности). Затем следует фаза сушки, во время которой скорость уменьшения влажности снижается, что обусловлено сокращающейся разницей давления водяных паров в материале и сушильном агенте. Здесь выделяется стадия, когда поверхность зерна не насыщена влагой, и стадия переноса влаги из середины зерна к поверхности, зависящие от пористости, величины и площади поверхности зерна. При влажности ниже 10 % перенос влаги замедляется, а при влажности около 2 % достигается устойчивое равновесие, которое можно нарушить только путем испарения влаги при температурах выше 100 °С.

В одноярусных сушилках сушка осуществляется послойно снизу вверх. Высокий расход воздуха обуславливает сильное охлаждение свежепоросшего солода (благодаря эффекту испарения), так что сушку начинают при существенно более высоких температурах, чем в старых двухъярусных сушилках. Вследствие быстрого подсыхания нижних слоев зерна рост зародыша прекращается уже через несколько часов, однако действие ферментов продолжается до влажности около 10 % и температуры 70 °С, что вызывает накопление низкомолекулярных продуктов расщепления (Сахаров и аминокислот). При этом в верхних слоях рост зародыша еще продолжается

с использованием продуктов расщепления углеводов, белков и липидов. Превращения здесь протекают довольно мощно, о чем свидетельствует увеличение количества продуктов расщепления в верхнем слое. С уменьшением влажности с 40-42 до 10% и повышением температуры сначала до 45, а затем очень быстро — до 65 °С, создаются идеальные температурные условия для протекания реакций различных групп ферментов, приводящих к дальнейшему росту содержания низкомолекулярных соединений. Согласно i-x-диаграмме Мольте температура отводимого воздуха длительное время поддерживается на уровне 22-30 °С (в зависимости от температуры подводимого воздуха). Лишь после снижения влажность верхних слоев свежепросоженного солода ниже точки гигроскопичности температура отводимого воздуха быстро повышается, а влажность постоянно убывает. Таким образом, по сравнению с нижним слоем свежепросошенный или подсушенный солод верхнего слоя продолжает оставаться в области температур и значений влажности, при которых еще возможен рост или ферментативная активность, на 10-12 ч дольше. При осторожном ведении процесса сушки не происходит превышения предельных температур расщепления белка и крахмала. Вследствие высоких скоростей воздуха и охлаждения во время сушки материал нагревается лишь после прохождения солодом точки гигроскопичности.

В результате солод из верхнего слоя характеризуется несколько лучшей разностью экстрактов солода грубого и тонкого помолов, большей растворимостью белка и содержит больше низкомолекулярного азота, чем солод из нижнего слоя. Несмотря на непродолжительное воздействие температур сушки, окраска

солода верхнего слоя несколько темнее, чем нижнего.

Способы с применением непрерывно повышающихся от 45 до 65 °С температур (например, на 1,5-1,7 °С/ч) хорошо себя зарекомендовали, так как в этом случае не происходит резкого изменения состояния сушильного воздуха. При этом конечная температура подсушивания 65 °С поддерживается еще 1-2 ч для выравнивания характеристик солода (например, содержания влаги). Дальнейший нагрев до температуры сушки должен также происходить непрерывно, но с более быстрым повышением (например, 4-5 °С/ч). Вентиляционная установка подает 4000-4800, а в случае перезамоченного или повторно замоченного солода — до 5500 м³ воздуха/т солода в час. В ходе сушки это значение увеличивается примерно на 10 %, так как со снижением влажности уменьшается сопротивление слоя свежепросоженного солода. В зависимости от его влажности, производительности вентилятора и температурного режима процесс подсушивания длится 10-13 ч.

Подсушенный таким образом солод никогда не дает характерный аромат темного солода, так что характер светлого солода определяется уже при подсушивании.

После достижения «проскока» производительность вентилятора плавно уменьшают до 50 % первоначальной производительности вентилятора, чтобы ограничить избыток воздуха, до 2000-2700 м³/т·ч. Дальнейшее ее снижение нецелесообразно, поскольку в этом случае разница между отдельными слоями оказалась бы слишком велика, и верхние слои оказались бы недостаточно высушенными. Нагревание до температуры сушки производится ступенчато с шагом 5 °С/ч или непрерывно в течение 2-3 ч.

В зависимости от желаемого цвета солода и интенсивности предварительного подвяливания температура подсушивания поддерживается в течение 4-5 ч на уровне 80-85 °С. Для получения очень светлого солода благоприятное действие оказывает ступенчатое регулирование температуры при подсушивании (например, 2 ч при температуре 80 °С, 3 ч при температуре 82 °С). При этом в зависимости от температуры подсушивания, расхода и качества воздуха достигается влажность 3,5-4,2 %. При данном режиме температура в верхнем слое солода на 2-3 °С выше, чем в нижнем, однако влажность солода выше лишь на 0,2-0,4 % (табл. 1.10).

Этот способ сушки служит для изготовления светлого солода с использованием свежего воздуха. Для свежепроросшего и незначительно окрашенного солода, а также у солода с цветностью 3,0-3,5 ед. ЕВС сокращение подачи свежего воздуха может осуществляться несколько раньше, при влажности отработанного воздуха

примерно 75 %, что позволяет сделать сушку более экономичной. При подсушивании можно также использовать рециркуляционный воздух, так как к началу подсушивания его относительная влажность составляет менее 15 %. На практике примерно через 1 ч после достижения температуры подсушивания производят подачу 25 %, еще через час — 50 %, а в последние 2-3 ч — 75% рециркуляционного воздуха. При этом производительность вентилятора снова ступенчато поднимают примерно до 80 % первоначального значения. Благодаря таким мероприятиям достигается лучшее выравнивание температур и влажности в верхних и нижних слоях солода.

Желательно поддерживать высокую температуру сушки, несмотря на неизбежные потери ферментов из-за термокоагуляции высокомолекулярных азотистых веществ. Подвергшийся коагуляции белок не создает трудностей в дальнейшем процессе пивоварения, пиво легко фильтровать, и оно характеризуется более

Таблица 1.10. Режимы сушки солода при повышающихся температурах

Часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура, °С:										
воздуха в ресиверном помещении	45	50	55	55	60	60	60	60	65	65
рециркуляционного воздуха	20	22	23	23	24	24	26	29	33	37
Влажность рециркуляционного воздуха, %	100	100	100	100	100	100	85	70	55	42
Производительность вентилятора, м ³ /ч	4400						4800			4900

Часы	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Температура, °С:									
воздуха в ресиверном помещении	65	70	75	80	82	85	85	85	85
рециркуляционного воздуха	45	50	58	68	72	76	78	80	81
Влажность рециркуляционного воздуха, %	31	23	15	12	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Производительность вентилятора, м ³ /ч	3800	3200	2900	2500	2500	2200	2200	3000	3300
Доля рециркуляционного воздуха, %						25	50	50	75

высокой белковой стабильностью и лучшим ценообразованием.

Наименьшая потеря ферментов и самая низкая степень окрашивания проявляется у солода, подсушиваемого при возрастающей от 60 до 65 °С температуре, и при сушке которого производительность вентиляторов была высокой до конца подсушивания, то есть до достижения разности температур подаваемого и выпускаемого воздуха 20-25 °С. Недостаточно высушенный солод считался ранее недостаточно «стойким к сушке» вследствие более позднего окрашивания в процессе, но при температурах сушки 82-83 °С солод окрашивается тем сильнее, чем лучше он высушен. Это можно отнести на счет промежуточных стадий реакций меланоидинообразования до необратимо окрашенных продуктов, а также повышенного образования антоцианогенов. Показателем достаточно интенсивного подсушивания является распад ДМС-предшественника (S-метилметионина).

Описанные способы подсушивания и сушки занимают, как правило, около 19 ч, но при этом следует учитывать относительно продолжительное время загрузки и выгрузки. С помощью современных устройств транспортировки свежепросоженного солода в сушилку (см. раздел 1.6.6.1) можно сэкономить около 2-2,5 ч, за счет чего можно увеличить продолжительность подсушивания и, при необходимости, время нагрева. Таким образом мощность вентилятора можно уменьшить примерно на 15 %, что соответствует 20 %-ной экономии электроэнергии, и можно выбрать более низкие начальные температуры сушки.

Сушка темного солода в одноярусной сушилке. Сушку темного солода осуществлять сложнее, чем светлого, поскольку необходимо обеспечить определенные

влажностные и температурные условия, способствующие дальнейшему растворению зерна и образованию низкомолекулярных азотистых веществ и Сахаров. Эти вещества при высушивании обуславливают естественную ароматизацию и окрашивание нива. Предпосылкой получения характерного темного солода является полное (до кончика) растворение зерен свежепросоженного солода, которые должны характеризоваться высоким (45-50 %) содержанием влаги. При подсушивании темного солода влажность свежепросоженного солода снижают медленно, так, чтобы продолжалось действие ферментов и произошли по возможности более полные химико-биологические превращения.

В стадии подсушивания, которая в ответствии с экспериментально установленными технологическими требованиями может длиться лишь 6-10 ч, в нижнем и среднем слое материала влажность следует понижать с 45 до примерно 20 % (но не ниже). С другой стороны, желаемые реакции расщепления прекращаются без значительной инактивации ферментов в диапазоне температур 35-40 °С. При снижении влажности может происходить подъем температуры, что позволяет создавать оптимальные условия для проявления активности важнейших ферментов и применять затем высокие температуры сушки. Технически этот процесс, известный как «томление солода», заключается в том, что сушка темного солода в отличие от сушки светлого осуществляется не свежим воздухом, а его смесью с рециркуляционным воздухом. Если при сушке свежим воздухом вследствие охлаждения в результате испарения температура на входе снижается, то при использовании рециркуляционного воздуха устанавливается примерное равновесие

между температурой воздуха выше и ниже слоя солода и температурой зерна. Напротив, при использовании смеси свежего и рециркуляционного воздуха в различных соотношениях увеличение температуры солода происходит медленнее, чем при использовании лишь одного рециркуляционного воздуха. Постоянное поддержание соотношения обоих компонентов приводит к достижению равновесного состояния подаваемого воздуха. При использовании смеси свежего и рециркуляционного воздуха на качество получаемого солода влияет в основном содержание в смеси свежего воздуха. Если при подсушивании светлого солода контролируют только температуру подаваемого воздуха, то при подсушивании темного солода — температуру как подаваемого, так и отводимого воздуха.

Для достижения необходимой температуры материала целесообразно при температуре подаваемого воздуха 50 °C обеспечить соотношение количеств свежего и рециркуляционного воздуха как 20 : 80 %. В этом случае температура отводимого воздуха устанавливается в диапазоне 35-40 °C, благодаря чему можно снизить полную мощность вентилятора до 70 % (3000 м³/т солода в час). Через 4 ч температуру подаваемого воздуха поднимают до 55 °C, и при несколько уменьшенной влажности создаются оптимальные условия для действия ферментов. При равных количествах свежего и рециркуляционного воздуха в солоде устанавливается температура 40 °C. В конце 8-9-часового периода подсушивания влажность верхнего слоя солода сохраняется прежней, тогда как нижнего — 20-25 %. Из обработанного таким путем солода светлый солод получить уже невозможно, так как образовавшиеся продукты

расщепления формируют специфический аромат и интенсивный цвет.

Стадия высушивания, которая следует за подсушиванием (томлением), должна обеспечить за 6 ч снижение влажности в среднем с 35 до 5-6 %, что возможно лишь при работе вентилятора на полную мощность и при использовании только свежего воздуха. Для достижения повторного выравнивания влажности через 2 ч сушки еще раз (в течение 1 ч) подают только рециркуляционный воздух. При этом температура составляет 70 °C и наблюдается сильное действие амилаз («пауза осахаривания»). В дальнейшем высушивание проводится при подъеме температуры с 80 до 95 °C, причем сначала подается 100% свежего воздуха, а в последние 2 ч добавляется 20 % рециркуляционного. В конце фазы сушки влажность отводимого воздуха снижается примерно до 10 %.

Стадия обжаривания при температуре 102-105 °C длится 4-5 ч. Здесь желателен легкий подъем температуры, минимальный в последний час. Если красящие вещества образуются относительно быстро, то для получения необходимого аромата требуется больше времени. В формировании аромата участвуют аминокислоты валин и лейцин с довольно длинными цепочками. Требуемая температура не всегда одинакова — при сильном растворении зерна солода, глубокой и правильной обработке его при подсушивании необходимый цвет и аромат получают уже при температуре 100 °C. Для выравнивания температуры в процессе сушки содержание рециркуляционного воздуха постепенно увеличивают с 20 до 80%. Если вентилятор при этом работает на полную мощность, температура верхнего слоя солода поднимается выше 100 °C.

Несмотря на указанное быстрое нагревание солода и сильное удаление влаги, приготовленный таким образом солод отличается рыхлостью, хорошими цитоллизом и степенью растворения белка. Примечателен несколько более темный цвет верхнего слоя, который вызван усиленным образованием продуктов реакции меланоидинообразования. Белковая растворимость у темного солода низка вследствие коагуляции высокомолекулярного азота и расхода аминокислот и пептидов при реакции Майяра. Продолжительность осахаривания 10-15 или 20-25 мин оказывается для темного солода неблагоприятной. Ферменты инактивируются в меньшей степени, чем в обычной двухъярусной сушилке.

Среднеокрашенный солод («венского» типа) получают теми же способами, что и светлый, однако при влажности отводимого воздуха уже около 70 % производительность вентилятора можно уменьшить и при температуре отводимого воздуха 52-60 °С добавить рециркуляционный воздух, постепенно повышая его содержание с 20 до 80 %. Температура сушки (90-95 °С) может поддерживаться в течение 3-4 ч в зависимости от требуемой цветности (5-8 ед. ЕВС).

Таблица 1.11. Режимы сушки в двухъярусных сушилках

Часы	1	2	3	4	Б	6	7	8	9	10
Температура воздуха, °С:										
подводимого на нижнюю решетку	60	60	60	60	60	60	60	60	60	65
отводимого с нижней решетки	33	35	37	41	45	47	52	54	57	59
отводимого с верхней решетки	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Часы	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Температура воздуха, °С:										
подводимого на нижнюю решетку	65	65	70	72	78	80	80	80	80	80
отводимого с нижней решетки	61	63	64	65*	65	65	65	65	65	65
отводимого с верхней решетки	28	28	29	30**	30	30	30	30	30	30

* С этого момента свежий воздух смешивается с рециркулируемым так, чтобы не превышалась температура 65 °С.

** Начиная с температур 30 °С ступенчато снижают число оборотов вентилятора.

1.6.3.2. Технология сушки в двухъярусных сушилках (см. раздел 1.6.2.2). В сушилках этого типа воздух всасывается через нижнюю решетку и продувается сквозь верхнюю. В зависимости от типа погружно-разгрузочного устройства на подсушивание и сушку требуется 19-20 ч. Отработанный воздух с решетки сушки является воздухом, одновременно подаваемым на решетку подсушивания; дополнительного его нагрева не происходит, хотя свежий воздух, смешиваемый с рециркуляционным, может немного подогреться в теплообменнике. При этом не следует превышать заданную температуру подсушивания. Повышение температуры воздуха, поступающего на решетку, происходит в течение 10 ч с 33 до 60 °С, в связи с чем влажность подсушиваемого солода следует регулировать так, чтобы она не стала менее 10 %. В противном случае подсушивание следующих партий солода будет происходить медленнее, и еще влажный верхний слой при разгрузке может попасть в область повышенных температур, что вызовет инактивацию ферментов и «сморщивание» солода.

Как видно из табл. 1.11, процесс подсушивания начинается на верхней решетке. В воздухе для подсушивания (3800 м³,

33 °С) всегда будет меньше водяных паров (вследствие сушки на нижнем сите). При повышении температуры в течение 10-11 ч он нагревается с 33 до 60 °С. Через 24 ч достигается температура подсушивания 65 °С, которую не следует превышать. В дальнейшем свежий воздух подводится вентилятором от теплообменника. При достижении температуры отработанного воздуха 30 °С мощность вентилятора ступенчато снижают примерно до 2000 м³/т · ч (до 60 %), чтобы отработанный воздух покидал сушилку в насыщенном состоянии.

При разгрузке солода нижний слой характеризуется содержанием влаги 5.5-6,0%, а верхний — 11-13%. При механической обработке могут образовываться участки с влажностью даже 15-18 %, так что следует воспрепятствовать их попаданию в области высоких температур. Перегрузка на нижнюю решетку (охлажденную) происходит послойно, но иногда все же не удается избежать некоторого смешивания слоев высотой около 20 см.

Именно поэтому на нижнем сите следует очень внимательно регулировать температуру так, чтобы не повредить еще влажное зерно. Температуру 60 °С поддерживают до тех пор, пока на всей поверхности сита не будет достигнута температура 54 °С, и только тогда ее повышают до 65 °С с шагом 2-3 °С. Нагревание до температуры высушивания (80 °С) осуществляется ступенчато в течение 4 ч, причём для подсушивания отработанный воздух смешивают со свежим.

Такая технология сушки на практике дает хорошие результаты. Современные конструкции сушилок позволяют несколько сократить время разгрузки и загрузки, что делает возможным проводить рабочие циклы 2 · 20-21 ч. Полученный

солод характеризуется очень светлым цветом, нужной цветностью кипяченого суслу, хорошей рыхлостью и низкими значениями содержания ДМС. Хотя на верхней решетке еще имеет место некоторое дорастворение, однако различия между верхним и нижним слоями подсушенного солода незначительны.

1.6.3.3. Технология сушки в двухъярусных сушилках с системой рециркуляции воздуха отличается тем, что солод в течение всего периода подсушивания и сушки остается неподвижным. На решетке подсушивания свеженоросший солод уже при транспортировке в сушилку в течение 1 ч продувается воздухом температурой 45 °С. В конце загрузки вентилятор включают на мощность 2500 м³/т · ч, причем мощность устанавливается в зависимости от влажности свеженоросшего солода, продолжительности подсушивания и параметров воздуха. После снижения мощности вентилятора сушки до 1500 м³/т · ч, воздух смешивается с 1000 м³ нагретого свежего воздуха, и смесь нагревается в теплообменнике до температуры подсушивания (ступенчато с 45 до 65 °С по 1,1 °С/ч в течение 18 ч). При 65 °С настраивается «проскок», и мощность вентилятора регулируется так, чтобы температура отработанного воздуха 30-32 °С достигалась с почти полным насыщением. В конце подсушивания утилизируется теплота, образованная при охлаждении высушенного солода. После этого решетка подсушивания становится решеткой сушки и продувается вентилятором мощностью 1500 м³/т · ч. Через 2 ч при 65 °С начинается процесс нагревания, продолжающийся 12 ч (до достижения температуры 80 °С) при непрерывном повышении температуры. Высокие температуры подсушивания не приводят

к повышению энергопотребления, так как отводимый воздух можно снова использовать для подсушивания.

Опасения относительно того, что длительное пребывание подсушенного солода в области повышенных температур может привести к перерастворению верхнем слое и существенным различиям показателей между верхним и нижним слоями, не нашли подтверждения. По сравнению с одноярусной сушилкой цитоллиз, особенно в верхнем слое, улучшается, однако содержание растворимого и α -аминного азота в верхнем слое не возрастает, так как азот, по-видимому, расходуется на синтез тканей зародыша. Цвет солода и цветность кипяченого сусла отличаются незначительно, как и содержание ДМС.

1.6.3.4. В сушильном аппарате системы *Triflex* применяются две зоны сушки: первая (А) загружается на 45 % суточной загрузки, а вторая (В) — на 55 %. Благодаря этому, а также за счет более интенсивного использования воздуха, сушка в зоне А осуществляется за 20 ч, а весь цикл занимает 30-31 ч. В таких аппаратах даже при высоких температурах сушки отводимое тепло может быть полностью использовано для подсушивания.

1.6.3.5. *Вертикальная сушилка непрерывного действия* полностью загружается из вентилируемого солодорастильного ящика. Стадия подсушивания делится на

две зоны: в первой (верхней) подсушивание ведется при температуре воздуха 50 °С, а во второй — при температуре 60 °С (см. табл. 1.12), причем отработанный воздух отводится совместно и постоянно насыщается.

В третьей зоне при температуре 70 °С и расходе воздуха 2250 м³/т · ч достигается «проскок» (теоретически он достигается в центре вертикальной решетки). Температура смеси в среднем за 16 мин составляет в среднем 37 °С. При достижении 42 °С (эта температура регулируется, но лучше выбрать 42-43 °С) материал перемещается через сушилку. Средняя температура смеси (42 °С) получается из минимального значения (33 °С) верхней зоны и максимального значения (65 °С) перед четвертой зоной. В фазе сушки температура потока воздуха, как правило, поддерживается на уровне 80 °С. Температуру солода на поверхности решетки сушки поддерживают на уровне 68-80 °С. Возможна температура сушки и выше 80 °С, но при этом разность температур между отдельными зонами должна выбираться соответственно больше. По сравнению со старыми конструкциями вертикальных сушилок поток воздуха обдувает материал постоянно в одном и том же направлении, что имеет большое значение для шадящей сушки солода.

Сушильный аппарат непрерывного действия хорошо подходит для переработки относительно постоянных суточных загрузок солода.

Таблица 1.12. Режимы сушки в вертикальной сушилке непрерывного действия

Зона	IV		III	II		I	
	На входе	На выходе		На входе	На выходе	На входе	На выходе
Температура воздуха, °С	80	75-79	70	37-42*	60	50	26-29
Объем воздуха, м ³ /т · ч	1500		2250	3000			

* Температура регулируется при разгрузке и загрузке.

1.6.3.6. Сушка в солодорастильно-сушильном ящике принципиально не отличается от технологии, применяемой при использовании одноярусной сушилки высокой производительности, однако высота слоя солода в нем на 30-60 % больше, чем в обычных сушилках, а производительность вентилятора на 1 м² поверхности сита такая же, как и в одноярусных сушилках, и из-за большей загрузки расход воздуха составляет 2500-3500 м³/т · ч, в связи с чем процесс подсушивания соответственно удлиняется и в зависимости от производительности вентилятора продолжается 16-24 ч. С учетом указанных обстоятельств можно рекомендовать следующую технологическую схему: подсушивание 4 ч при температуре 50° С, 4 ч при температуре 55° С, 10 ч при температуре 60° С; х ч при температуре 65° С, то есть до достижения температуры отводимого воздуха около 32° С; нагревание в течение 4 ч с 65 до 80° С; сушка в течение 5 ч при 80-85° С. Общая продолжительность подсушивания и сушки составляет 31-33 ч. Регулирование частоты вращения вентилятора осуществляется при температуре отводимого воздуха 40° С; разность температур подаваемого и отводимого воздуха составляет к этому моменту около 30° С. В начале сушки жалюзийная заслонка рециркуляционного воздуха открывается, и до конца сушки содержание рециркуляционного воздуха поддерживается на уровне 50-70 %.

В прямоугольном солодорастильном ящике длиной 40-50 м в начале подсушивания под ситом между стороной, откуда подается воздух, и противоположной может установиться разница температур. В первые часы сушки этот перепад температур сказывается и на солоде. Это явление обусловлено нагреванием строительных

конструкций, на что в процессе подсушивания теряется 4-5 ч. На более поздних стадиях сушки существенных температурных различий не отмечено. В солодорастильных аппаратах круглого сечения и в прямоугольных солодорастильных ящиках, вентиляция в которых осуществляется в поперечном направлении, такого перепада температур не наблюдается.

При температуре 80° С сушка ведется в течение 4 ч. Длительный период подсушивания едва ли дал бы большую разницу между отдельными слоями солода, чем при обычном способе сушки в одноярусной сушилке высокой производительности. При очень быстром высушивании, достигаемом путем повышения производительности вентилятора и температур подсушивания, существенных различий в показателях солода также не наблюдается — лишь цветность солода в нижнем слое становится интенсивнее, чем при длительном подсушивании. Чтобы «мертвые» зоны оказались доступными для сушки, достаточно одного ворошения по всей ширине слоя материала.

Соединение двух солодорастильных ящиков требует соответствующей системы каналов для отвода воздуха от подсушивания и сушки, чему способствуют отдельные вентиляторы подсушивания (большей производительности) и сушки (меньшей производительности). Необходимо отметить, что при подсушивании и сушке в течение 24-28 ч, несмотря на высокую удельную загрузку, однородность солода не отличается от солода, высушенного в одноярусной сушилке. В верхнем слое солода показатели цитололиза лучше, но хуже показатели степени растворения белка и свободного α-аминоного азота, поскольку низкомолекулярные соединения в зародышевых листке и корешке синтезируются вновь.

1.6.3.7. Технологию сушки в обычных двухъярусных сушилках (см. раздел 1.6.2.6) мы рассмотрим вкратце, так как более подробно она изложена в других изданиях¹.

Светлый солод требует быстрого удаления влаги, которое в обычных двухъярусных сушилках с естественной тягой возможно лишь при тонком, не более 14-

16 см, слое материала (35 кг/м²). При использовании вентиляторов загрузку можно удвоить.

Подсушивание на верхнем ярусе проводят в две стадии: снижение влажности с 45 до 30 % за 6 ч при температуре подаваемого под верхнюю решетку воздуха 35-40 °С и снижение влажности с 30 до 10 % при температуре воздуха под верхней решеткой 50-60 °С.

На нижнем ярусе удаление влаги продолжается до ее содержания 3,5-4 %. Для понижения влажности солода, находящегося на верхнем ярусе, требуется сильная тяга, при которой действию потока воздуха подвергается и солод, находящийся на нижнем ярусе. Температура сушки с учетом температуры свежepro-росшего солода на верхнем ярусе составляет сначала 50-60 °С. После того как этот солод оказывается на нижнем ярусе, на верхнем устанавливается указанная выше температура подаваемого воздуха. Примерно через 4 ч солод под решеткой нагревается до температуры 70 °С, при которой его выдерживают в течение 2-3 ч. Затем температуру в течение 1 ч повышают до температуры сушки (около 80-85 °С), которая длится 3-5 ч. Температура между ярусами, а также входная температура на верхнем ярусе не должна при этом превышать 60-65 °С. Ворошение

материала, находящегося на верхней решетке, следует производить при выравнивании влажности в слоях. Применение ворошителей не исключает описанных недостатков, поскольку из-за разрыхления материала влажные партии соприкасаются с теплым воздухом и т. д. Ворошение на нижнем ярусе излишне, но поскольку поток воздуха в многоярусных сушилках значительно меньше, чем в одноярусной сушилке высокой производительности, при меньшей толщине слоя солода возникает опасность неравномерного просыхания материала. Такая технология сушки предусматривает 2 · 12-часовой рабочий цикл.

Темный солод раньше помещали на специальный ток — свободное пространство перед или над сушилкой для подсушивания (подвяливания) в течение 1-2 сут для дальнейшего растворения зерна, подсыхания ростков и выравнивания температуры, но ради экономии производственных площадей от этого отказались. Обычно весь процесс подсушивания темного солода проводится в двухъярусной сушилке и проходит в три стадии.

На первой стадии (12-14 ч) влажность солода понижается с 45 до 20-25 %. При этом скорость поступления воздуха температурой 35-40 °С должна быть небольшой во избежание слишком быстрого удаления влаги, для чего каждые 2 ч проводится ворошение.

На второй стадии (около 10 ч) температуру повышают до 50-60 °С, не снижая влажности солода. Сохранение сравнительно высокой влажности, несмотря на подъем температуры, возможно при минимальной скорости подачи свежего воздуха. Солод на нижнем ярусе в это время высушивается и заслонки между ярусами закрывают. Ворошение производят каждый час.

¹ См., например, Л. Нарцисс. Технология солодоращения. — Пер. с нем. — СПб.: Профессия, 2007. — 582 с.

Третья стадия подсушивания осуществляется на нижнем ярусе. В течение примерно 12 ч влажность зерна понижается с 20-25 до примерно 10 %, при этом температура в слое солода должна составлять около 50-55 °С. Ворошение проводят через каждые 2 ч. Таким образом, все подсушивание продолжается 36 ч.

Нагрев до температуры сушки продолжается 6-7 ч с одновременным медленным удалением влаги из солода до примерно 5-6 %. При этом температура повышается до 70-75 °С. По достижении данного уровня заслонки между ярусами закрывают. Ворошение проводят каждые полчаса. При сушке темного солода в сушильной системе должна соблюдаться строго определенная смена температур. Из-за высокой температуры в конце процесса сушки сушилка может открываться только сверху вниз, причем нижние каналы для воздуха остаются закрытыми. В этот период необходимо избегать резкого возрастания температуры в нагревательной камере, так как оно может вызвать «запаривание» солода на верхнем ярусе.

Вследствие неизбежной разницы температур в системе получаемый темный солод менее однороден по сравнению с солодом из одноярусных сушилок. Цвет темного солода для устранения горелых нот в аромате доводится не более чем до 12-15 ед. ЕВС. Желаемый цвет темного пива в 50-60 ед. ЕВС устанавливается добавлением жженого солода.

1.6.4. Контроль и автоматизация сушильных работ – обслуживание сушилок

1.6.4.1. В одноярусных сушилках высокой производительности или солодорастильно-сушильных ящиках с помощью

самописцев определяют следующие основные показатели: температуру в ресиверном помещении, температура воздуха в пространстве над решеткой, температуры в различных участках и слоях высушиваемого слоя солода, производительность вентиляторов, давление под решеткой, положение заслонки выпуска воздуха и влажность отводимого воздуха. Некоторые из этих величин могут быть заложены в программу автоматического управления процессом сушки. Периодически контролируются (например, при сдаче сушилки в эксплуатацию) влажность материала в нижнем и верхнем слое солода, ход температур. При этом выполняются простейшие анализы солода (определение цветности, степень осахаривания и т. д.), с помощью ротаметров контролируются действительные потоки воздуха на различных стадиях сушки. При приеме сушилки в эксплуатацию определяют как в действительности ведут себя массы воздуха, например, при установлении определенного соотношения рециркуляционного и свежего воздуха. Ценные данные о ходе процесса могут быть получены при контроле влажности отводимого воздуха с помощью психрометров. Наряду с этим необходимо следить за потреблением тепла и энергии.

1.6.4.2. Автоматизация процесса сушки. В качестве контрольных параметров при автоматизации процесса сушки используют температуру в ресиверном помещении, а также температуру и влажность отводимого воздуха. В качестве одного из параметров управления процессом сушки в последние годы все более широкое применение находит температура воздуха в пространстве над решеткой, поскольку ее определять легче и надежнее, чем влажность отводимого воздуха.

Так, например, по разработанной программе при температурах в ресиверном помещении 45-65 °С последняя температура поддерживается до тех пор, пока не будет достигнута контрольная температура отводимого воздуха (обычно 32-40 °С). В конце устанавливается жестко запрограммированная повышенная температура сушки. Превышение температуры рециркуляционного воздуха, выбираемой между 40 и 55 °С, вызывает постепенное снижение производительности вентилятора. Следующий температурный порог для отводимого воздуха определяет подачу рециркуляционного воздуха, что сопровождается повышением частоты вращения вентилятора во избежание замедления процесса сушки.

При использовании сушилки с рециркуляцией воздуха отработанный воздух от сушильной решетки подводится к загрузочной свежепроросшим солодом решетке подсушивания, подпитывается требуемым количеством свежего воздуха и задаются температуры камеры подогрева. Вентиляторы подсушивания и сушки регулируются в зависимости от заданных режимов сушки. Все указанные характеристики могут представляться в виде диаграмм.

1.6.4.3. Мероприятия по уходу и техническому обслуживанию сушилки должны охватывать детали системы обогрева или теплообмена, вентиляторы, сушильные решетки, заслонки и контрольно-измерительную аппаратуру.

1.6.5. Экономия тепла и энергии

1.6.5.1. Потребление тепла при сушке в высокопроизводительных одноярусных сушилках с прямым обогревом составляет

в среднем в год около $4 \cdot 10^6$ кДж (0,95 млн ккал/т готового солода). Удельное электронотребление вентилятора для сушки при соответствующей регулировке решетки — около 32 кВт · ч/т готового солода.

Для сокращения энергопотребления, составляющего значительную долю затрат на солодоращение, предложены различные методы. Некоторые оказались не слишком практичными (например, обезвоживание осушающего воздуха осушителями на хлориде лития, применение тепловых насосов или выработке солода с повышенным содержанием влаги при сокращении продолжительности сушки или преждевременное использование рециркуляционного воздуха после «проскока»). При этом характер получаемого солода (и пива) зачастую оказывался неудовлетворительным; определенные проблемы представляло и содержание ДМС.

1.6.5.2. Предварительный подогрев подаваемого воздуха может быть реализован путем установки конденсатора для охлаждения воздуха во всасывающей шахте сушилки. Расход воздуха следует считать так, чтобы при подсушивании он составлял около 60-80 % потребности сушильного воздуха. Конденсатор устанавливается перед отверстием для всасывания воздуха в сушилку, так что холодильная установка и сушилка могут работать независимо. Потенциальная экономия тепла составляет 8-12 % потребности, а потребление электроэнергии при сушке возрастает на 10 %. Кроме того, следует учитывать, что холодильная установка в холодное время года не эксплуатируется.

В шахте отводимого воздуха устанавливают стеклянный теплообменник для более полного использования отводимого

тепла. Воздух при этом следует подводить так, чтобы он мог нагреваться на большой поверхности теплообменника, который состоит из системы стеклянных панелей или трубок, смонтированных у выхода воздуха от сушки. Рекуперация теплоты при этом достигает в среднем 30-33 %. КПД теплообменника в режиме подвешивания составляет порядка 80 %, при сушке — около 70 %. При перепаде давления около 1,5 мбар (15 мм вод. ст.) дополнительный расход энергии составляет около 10 % потребляемой энергии вентилятора для сушки. Очень важно, чтобы контролировать смешивание свежего и отработанного воздуха.

Теплообменники с теплоносителем устанавливают со стороны входа воздуха в сушилку. Оба теплообменника работают с теплоносителем (например, смесь воды с гликолем). Теплоноситель проходит по трубам, и экономия теплоты в этом случае меньше, чем в случае применения стеклянного теплообменника. Кроме того, следует учитывать энергопотребление насоса. Теплообменники с теплоносителем рекомендуется использовать прежде всего при не слишком удачных строительных решениях.

1.6.5.3. Применение воздушной смеси при сушке можно проводить наружным воздухом. При его температуре ниже 20 °С предлагается добавлять столько рециркуляционного воздуха, чтобы температура подаваемого воздуха составляла 20 °С, а при температуре в реверсивном помещении 60 °С температура отводимого воздуха была бы 30 °С. В зависимости от показателей наружного воздуха дозирование воздушной смеси рекомендуется осуществлять с помощью автоматического управления клапанами, что дает в среднем годовом выражении экономию около

6,5 %. Данный метод можно успешно использовать вместе со стеклянными теплообменниками.

1.6.5.4. Изоляция сушилки. В двухъярусных сушилках потери тепла на излучение зависят от наружных температур, а также от вида загружаемой поверхности и высоты слоя материала. При температурах от +10 до -10 °С теплотери составляют в небольших (площадью 36 м²) сушилках 8—12 %, в крупных — 4-6,5 %.

1.6.5.5. В двухъярусных сушилках с рециркуляцией воздуха для подсушивания используется отработанный воздух с сита сушки (после «проскока»), в связи с чем с точки зрения экономии энергии температура и интенсивность сушки не имеют особого значения. Экономия энергии составляет (с учетом экономии от стеклянного теплообменника) 45 %. Аналогичная экономия достигается и в трехъярусной или традиционной вертикальной сушилке.

1.6.6. Вспомогательные работы при сушке

К вспомогательным работам относятся главным образом загрузка материала на ярусы, выгрузка готового солода и техническое обслуживание сушилки.

1.6.6.1. Загрузка сушилок осуществляется механическими и пневматическими транспортерами свежепросоженного солода. Механический транспортер включает, как правило, шнеки или транспортеры для перемещения свежепросоженного солода в горизонтальном направлении или под небольшим уклоном, а также ковшовые транспортирующие устройства для перемещения материала в вертикальном направлении. С помощью ковшового

питателя или метателя пневматической установки свежепроросший солод попадает на систему шнеков или транспортеров. Объем ручного труда по распределению свежепроросшего солода невелик. При загрузке высокопроизводительной одноярусной сушилки без ворошителя следует учитывать, что должна обеспечиваться не только одинаковая высота слоя, но и равномерная плотность загрузки. В противном случае воздух будет проходить через слой материала неравномерно, что повышает расход электроэнергии и нарушает правильное ведение технологического процесса.

Преимущество автоматической загрузки состоит в том, что благодаря полой загрузке подсушивание может происходить уже при загрузке с помощью регулирования числа оборотов вентилятора, соответствующего высоте слоя. При этом загрузка сушилки при соответствующей мощности транспортера свежепроросшего солода происходит быстрее.

1.6.2.2. Разгрузка свежепроросшего солода производится силовыми лопатами или путем опрокидывания решеток, что оптимальнее и проще. Опрокидывающиеся решетки хорошо себя зарекомендовали, особенно после внедрения загрузочных устройств, способных также выполнять разгрузку.

1.6.7. Обработка солода после сушки

Выгруженный из сушилки солод охлаждают и в кратчайший срок освобождают от ростков.

1.6.7.1. Охлаждение проводится в зависимости от наружной температуры воздуха.

В одноярусных сушилках высокой производительности охлаждение можно проводить с помощью аэрации холодным воздухом в течение 30 мин. В многоярусных сушилках это невозможно. В небольших сушилках солод охлаждают достаточно быстро в бункере и при последующем освобождении от ростков и очистке. В более крупных сушилках температуру солода снижают в специальном охлаждающем корпусе, в противном случае наблюдается инактивация ферментов и заметное потемнение солода, что ухудшает вкус пива. Хотя солод немного охлаждается по пути в отделение очистки и в процессе отделения ростков, в установках высокой производительности температура солода зачастую еще продолжает составлять 35 °С. При такой температуре солод нельзя сразу же направлять на хранение, так как в силосах дальнейшее охлаждение большой массы солода зерна невозможно. При закладке на хранение желательно, чтобы температура солода составляла 20-25 °С.

1.6.7.2. Удаление ростков следует производить сразу после сушки солода, так как легко и полностью они удаляются лишь в сухом состоянии. При длительном хранении солода ростки поглощают значительное количество влаги и полностью уже не отделяются. Необходимо проводить контроль на степень удаления ростков, поскольку солод с неполностью удаленными ростками бракуется.

Росткоотбивная машина состоит из медленно вращающегося перфорированного барабана, внутри которого помещается лопастное отбивочное устройство, вращающееся в том же направлении, что и барабан, но несколько быстрее. В результате трения ростки обламываются без повреждения зерна солода, проходят

через отверстия в барабане и удаляются с помощью шнека. Для удобства фасования ростков в мешки предусматривают стальные патрубки. Частоту вращения перфорированного барабана и лопастного устройства устанавливают так, чтобы исключалось повреждение ростков солода. Установка на росткоотбивной машине специального устройства (экспаустера) позволяет отделять более легкие загрязнения и интенсивно аэрировать солод на выходе из машины. Тяжелые примеси, захватываемые потоком воздуха, попадают в гравитационный отделитель, а более легкие частицы — в рукавный фильтр.

С внедрением надежных высокопроизводительных одноярусных сушилок одной росткоотбивной машины уже недостаточно, так как в таких сушилках при той же загрузке получается больше ростков. В таком случае под бункером для сухого солода устанавливают так называемый предотбивочный шнек, снабженный патрубками для фасования ростков в мешки и значительно уменьшающий нагрузку на росткоотбивную машину.

Пневматическое удаление ростков возможно при наличии пневматического транспорта солода. Сухой солод из бункера подается через дозирующий шнек с помощью всасывающей установки на идущий в вертикальном направлении подъемник или на отбивочный шнек с рифленой в поперечном направлении поверхностью. При прохождении солода через подъемник происходит трение зерен друг о друга, благодаря чему ростки солода отбиваются. В одном из циклонов большого воздушного сепаратора тяжелый солод отделяется от более легких ростков, а в следующем за ним осуществляется сепарирование ростков. Отводимый воздух очищается во всасывающем

рукавном фильтре. Достоинствами установки являются высокая производительность и отсутствие пылеобразования.

На ростки приходится, как правило, 3-5 % СВ солода. Благодаря высокому содержанию белка (около 24 %) они в виде муки или гранул являются ценным кормом для скота.

1.6.7.3. Полировка солода. Перед использованием в пивоварении солод полируют, что подразумевает отбивку оставшихся ростков солода и частичек цветочной оболочки и тщательное обеспыливание, благодаря чему солод приобретает лучший внешний вид, более чистый вкус и дает повышенный выход. Одновременно несколько увеличивается масса гектолитра и соответственно удельная плотность. Полировку проводят в специальных полировочных машинах, аналогичных по конструкции машинам для очистки солода и оснащенных перфорированным барабаном с отбойным устройством и щетками. Выпускаются также агрегаты с секциями сит по типу используемых для предварительной очистки ячменя. Слишком сильной полировки рекомендуется избегать. Конструкция полировочной машины должна предусматривать возможность регулирования зазора в отбивочном устройстве в соответствии с влажностью и растворимостью зерна солода. В зависимости от принципа действия полировочных машин и длины транспортеров отходы полировки составляют 0,5-1,5 % массы солода. В них содержится солодовая крупка, представляющая собой ценный продукт, содержание экстракта в котором, как правило, на 2-4 % выше, чем в солоде. Крупку из отходов извлекают с помощью специальных установок.

1.6.8. Складирование и хранение сухого солода

Поступивший из сушилки свежий солод не может быть сразу направлен в пивоваренное производство, так как его влажность ниже 3,5 %, что недостаточно для эффективного дробления (за исключением кондиционированного солода или солода мокрого помола). Следствием переработки неотлежавшегося солода могут стать трудности при очистке, а также в период главного брожения и дображивания. Кроме того, часть ферментов к данному моменту еще не восстановилась после тепловой обработки.

При хранении солода происходят физические и химические изменения, облегчающие его последующую переработку. В основном эти превращения определяются небольшим водопоглощением солода, благодаря чему изменяются его масса и объем. Чем больше поглощается влаги, тем меньше становится масса гектолитра, причем объем твердых зерен увеличивается более заметно, чем мягких.

При поглощении влаги цветочные оболочки теряют хрупкость, коллоиды солода возвращают свою гидратационную воду (конгрессное сусло из такого солода хорошо фильтруется). Благодаря гидратации повышается активность ферментов.

Недорастворенный солод или солод, высушенный при очень высокой температуре, улучшает свои свойства при хранении: выход из них выше, они лучше перерабатываются. Показатели солода, хранившегося 4 мес при температуре 25 °С, изменяются незначительно: при повышении влажности, например, с 4,0 до 4,9 % выход экстракта остается одинаковым, а показатель разности экстрактов несколько снижается (на 0,1-0,2 % в первые 2 мес. хранения).

Экстракция недостаточно высушенного солода (с влажностью более 5 %) при затирании затруднена. При более высоких температурах хранения (30-35 °С) и увеличении его длительности наблюдается более интенсивное окрашивание солода, особенно при повышении его влажности. Темный солод при хранении более 3-6 мес. теряют аромат.

Сухой солод относительно равномерного помола необходимо хранить так, чтобы избежать подвода к нему воздуха и влаги (с воздухом должна контактировать лишь небольшая часть поверхности солода).

1.6.8.1. Хранение солода на току, еще применяющееся на небольших предприятиях, является наименее благоприятным, поскольку из-за большой площади поверхности контакта с воздухом солод легко поглощает влагу и велика опасность его повреждения вредителями. Стены помещения тока, как правило, обшиваются шпунтованными досками, а отдельные партии солода разделяют деревянными перегородками. Известной, но малоэффективной мерой профилактики повреждения солода является покрытие его брезентом или полиэтиленовой пленкой.

1.6.8.2. Хранение солода в деревянных или стальных ящиках предпочтительнее, так как площадь поверхности солода в этом случае меньше и солод может храниться слоем высотой до 3-4 м. Деревянные солодовенные ящики должны изготавливаться только из шпунтованных досок, причем в некоторых случаях их обивают железными листами. Полное опорожнение ящиков должно производиться не менее 1 раза в год, хотя это и связано с известными трудозатратами.

1.6..8.3. Хранение в силосах имеет те преимущества, что появляется возможность размещения больших количеств солода на небольшой площади, обеспечивается строгий контроль за влажностью солода, можно вести эффективную борьбу с вредителями и механизировать и автоматизировать загрузочно-разгрузочные работы. Железобетонные силосы для солода по своей конструкции сходны с силосами для ячменя, имеют малую теплопроводность, но они тяжелы и неразборны. После их изготовления необходимо дать бетону схватиться и высохнуть. В цилиндрических силосах из готовых сборных деталей в виде профилированных стальных листов также обеспечиваются условия, необходимые для хранения солода. Преимущества таких силосов — быстрота сооружения и ввода в эксплуатацию, возможность перемещения в случае необходимости и сравнительно небольшая масса. Опасность образования конденсационной воды при хранении такого сухого материала, как солод, в климатических условиях ФРГ исключается. В зависимости от цвета, растворимости и происхождения различные партии солода должны храниться раздельно. Для равномерного перемешивания различных партий солода при выдаче из солодовни предусматривают специальные ячейки. Аппараты для перемешивания имеют сравнительно небольшую (50-150 т) вместимость и оборудуются коническим выпуском с дозирующим устройством. Предпочтительно рекомендуется отдавать мерным и смесительным аппаратам, обеспечивающим любое соотношение партий солода, взятых из различных аппаратов. Для предупреждения расслоения солода при загрузке применяют обеспечивающие равномерное распределение солода рассеивающие диски или колокола, а при выпуске —

патрубки Денни, представляющие собой вертикальные двойные цилиндры с четырьмя расположенными друг против друга боковыми отверстиями, при соответствующем положении которых обеспечивается выпуск солода. При заполнении аппаратов солод не повреждается даже при большой высоте падения, однако при выгрузке в солод может попасть солодовая пыль, негативно сказывающаяся на ходе брожения. В связи с этим перед использованием в пивоварении солод следует тщательно повторно полировать.

Срок хранения сухого солода должен составлять не менее 4 нед. При загрузке силоса сухим охлажденным солодом вполне возможно длительное хранение (в течение 1-2 лет).

Солод, полученный из неравномерно проросшего ячменя, а также из ячменя с повышенным содержанием нежизнеспособных зерен, требует специальной обработки для отделения так называемых «каменных» (плохо растворенных) зерен. Используемые для этой цели сортировочные агрегаты действуют по принципу бросания. Производительность их невелика, и на самых крупных можно сортировать около 2 т солода в час.

Камнеотборники, конструкция которых основана на применении наклонных вибросит, продуваемых воздухом, используют (при соответствующей регулировке) не только для отделения камней, но и для сепарации «каменных» зерен. Производительность таких камнеотборников составляет до 6 т/ч (см. раздел 1.2.3.4).

1.7. Потери при солодоращении

Изменения, происходящие в ячмене при замачивании, прорастивании и сушке,

весьма существенны и сопровождаются изменением объемных и массовых соотношений в промежуточных продуктах и готовом солоде. Знание этих изменений позволяет правильно рассчитать потребность в производственных площадях, вместимость и число применяемых аппаратов, высоту стенок солодорастильных аппаратов над ситом и т. д. Основным интерес представляет определение количества солода, который можно получить из 100 кг ячменя (см. табл. 1.13).

Выход готового солода при солодоращении и, соответственно, потери рассчитывают, начиная от подачи ячменя на замачивание. Потери в результате очистки, сортирования и хранения готового солода не учитываются. При расчете потерь исключается сплав, так как он используется в качестве фуража.

Некоторые потери в процессе хранения ячменя остаются неучтенными, но можно принять, что из 100 кг замоченного ячменя влажностью 12-18% получается около 75-84 кг очищенного солода влажностью 2-4%. Определенные на основании этого расчета потери отражают потери воздушно-сухого вещества (ВСВ), которые могут изменяться от 16 до 25%. Именно потери ВСВ кладутся в основу определения эффективности производства солода, и лишь по потерям СВ специалисты-технологи судят о нарушении процесса солодоращения.

Потери вследствие уменьшения влажности определяются разницей между содержанием влаги в ячмене и в изготовленном из него солоде (10-16%).

Потери СВ дают представление о действительных потерях при солодоращении и составляют 5-12% (при обычных способах солодоращения может быть принята величина 8-10%). В общих потерях СВ (около 10%) выделяют потери при замачивании (около 1%), при дыхании (около 5,2%) и при проращивании (около 3,8%). Потери при солодоращении на отдельных стадиях производства могут существенно отличаться.

1.7.1. Потери при замачивании

Потери при замачивании являются следствием выщелачивания ячменя в замочной воде и обуславливаются составом и температурой воды, а также длительностью и способом замачивания. Всплывший ячмень (сплав) к потерям не относится — его собирают, высушивают и используют как фуражный. В ходе замачивания при частой смене воды потери невелики и, как правило, не превышают 0,5%. Влажная очистка ячменя от пыли и частичек, грязи, особенно при одновременном перелопачивании, перекачке материала или добавлении химических веществ, приводит к увеличению потерь массы до 0,5-1%. Потери ценных веществ наблюдаются при дыхании, начинающемся при замачивании,

Таблица 1.13. Количество солода, получаемого из ячменя

Продукт	Из 100 гл ячменя, гл	Влажность, %	Из 100 кг ячменя, кг
Ячмень перед замачиванием	100	16	100
Ячмень после замачивания	145	41,5	150
Свежепроросший солод	220	45	147
Высушенный солод	118	3,5	78
Солод на хранении	120	4,5	79

однако эти потери учитывают лишь при определении общих потерь. Если при преобладающем «мокром» замачивании потери на дыхание невелики, то при замачивании с короткими периодами увлажнения и длительными воздушными паузами потери на дыхание могут составить 0,5-1 %. При степени замачивания, слишком высокой для того или иного типа солода, или при слишком продолжительных воздушных паузах затрудняется ведение солодоращения па току или в недостаточно охлаждаемых ящиках, и потери увеличиваются.

1.7.2. Потери на дыхание и проращивание

При специальном определении начала проращивания можно выявить каждый вид этих потерь, но поскольку они являются следствием одних и тех же причин, мы рассмотрим их совместно.

Потери на дыхание в результате окисления крахмала и жиров до диоксида углерода и воды составляют 4-8 %. Эти потери невозможно сократить какими-либо технологическими решениями.

Потери при обычных способах проращивания составляют 3-5 %. Современные методы позволяют путем подавления роста зародышевого корешка способствовать изменению величины потерь при солодоращении. Кроме того, величина потерь зависит от условий проращивания

Общие потери зависят от:

- уровня влажности, при котором проводится проращивание (чем он выше, тем интенсивнее зерно «дышит» и тем больше образуется ростков);
- температуры проращивания (чем она выше, тем больше потери);
- состава воздуха грядки (чем больше в грядке CO_2 , тем менее интенсивным

становится дыхание и рост замедляется);

- типа получаемого солода (чем больше требуемая степень растворения зерна, тем выше потери) — особенно наглядно это заметно при сравнении светлого и темного солода, так как последний специально подвергается очень сильному растворению.

Для снижения потерь существует несколько возможностей.

1.7.2.1. Сокращение продолжительности проращивания. В случаях, когда проращивание прекращается раньше, чем достигается обычная степень растворения зерна при меньших потерях СВ, получают слаборастворенный солод, который в зависимости от длины ростков называют «наклюнувшимся» или «коротким». При этом условия солодоращения регулируют так, чтобы дальнейшая переработка этого солода была технически возможна в соответствии с принятой технологией. В зависимости от продолжительности проращивания потери можно снизить на 2-5 %. Чем меньше продолжительность проращивания, тем в большей степени сохраняется первоначальный характер ячменя и тем меньшими оказываются потери на дыхание. «Наклюнувшийся» солод — это сырье, оптимальные результаты переработки которого могут быть получены лишь при тщательном дозировании в засыпь (в количестве 10-15%). При переработке «короткого» солода применяют специальные способы затирания. Известно несколько способов улучшения пенообразующих свойств получаемого из таких солодов пива, однако все они довольно сложны и зачастую наблюдается ухудшение вкуса пива и его стабильности.

1.7.2.2. Применение диоксида углерода. За счет ослабления дыхания зерна ограничивается рост корешка. В зависимости от длительности воздействия CO_2 и его количества снижение потерь составляет 1-2,5 %, но последнее значение достигается только в случае применения углекислотных пауз, но по сравнению с обычным такой солод отличается пониженной ферментативной активностью и меньшей степенью растворения.

1.7.23. Способ повторного замачивания позволяет уменьшить действительные потери без ухудшения качества солода. Непрерывное ведение процесса способствует главным образом уменьшению потерь при проращивании благодаря инактивации роста корешка. В зависимости от длительности последнего замачивания и температуры воды эти потери составляют 1-2 % от СВ. Из-за повторного замачивания, а также последующего ведения солодоращения при убывающей температуре дыхание ограничивается (на 4-4,5 %), и общие потери СВ могут составить лишь 5-6,5 %. Дополнительное снижение потерь достигается путем применения метода повторного замачивания в теплой (30-40 °С) воде, но при этом способе, разработанном в Великобритании, предусматривается применение в качестве добавки гибберелловой кислоты.

1.7.2.4. Проращивание при убывающих температурах, например, с 17 до 12 °С также позволяет снизить потери, так как жизнедеятельность зерна, активизировавшаяся при подаче воды, при ступенчатом снижении температуры ослабляется по достижении максимальной влажности проращивания. По сравнению с классическим способом солодоращения общие потери без ухудшения качества

солода можно снизить при этом на 1-1,5 %, однако следует учитывать затраты на холод, так как дополнительный расход электроэнергии резко сказывается на достигаемой экономии.

1.7.2.5. Применение ростовых и ингибирующих веществ¹. Гибберелловую кислоту добавляют для ускорения растворения солода, то есть для получения тех же показателей растворения за более короткое время. При очень низких дозах внесения потери сокращаются немного, тогда как другие ингибирующие вещества, например, бромат калия (см. раздел 1.5.3.9), дают существенное снижение потерь. Аналогичные результаты можно получить при инактивации зародыша аммиаком или замачивании с использованием разбавленной серной кислоты.

Несмотря на все положительные стороны, снижение потерь при солодоращении приводит к некоторому ухудшению качества солода. В целях снижения потерь необходимо обеспечить условия, при которых использование крахмала и других веществ зерна на рост и дыхание будет минимальным. Управлять процессами солодоращения следует в направлении нужно для обеспечения качества солода, а не только для снижения потерь.

1.7.3. Определение потерь при солодоращении

Важным фактором контроля солодовенного производства является определение потерь при солодоращении, которые рассчитывают обычно по массам замоченного ячменя и готового солода, очищенного от

¹ В ФРГ применение ростовых и ингибирую-

ростков и пыли. По массе 1000 зерен ячменя и солода также можно определить потери, тогда как сравнение массы гектолитра ячменя и солода дает неверный результат, поскольку их объемы меняются непропорционально изменению массы. Из отдельных составляющих точно определению поддается содержание влаги и потери при прорастивании, все остальные показатели являются расчетными. Надежнее определять потери отдельно для каждого солодорастильного аппарата, поскольку в этом случае можно получить точное представление о ходе технологического процесса.

При расчете потерь при солодоращений можно использовать следующую формулу:

Потери ВСВ вычисляют по формуле

$$\frac{G-M}{G}$$

где G — масса ячменя; M — масса солода после удаления ростков.

Потери СВ рассчитывают по формуле

$$100 - \frac{M_{\text{св}} - 100}{G_{\text{СВ}}}$$

где $M_{\text{СВ}}$ — СВ солода, равные $M \cdot (100 - \text{влажность солода})$, а $G_{\text{СВ}}$ — СВ ячменя, равные $G \cdot (100 - \text{влажность ячменя})$.

1.8. Свойства солода

Оценка солода осуществляется на основании внешних признаков и данных, получаемых с помощью механических и теххимических методов анализа. При рассмотрении общепринятых методов оценки следует учитывать возможные связи между показателями солода и свойствами пива.

1.8.1. Внешние признаки

Внешние признаки оценивают путем визуального и ручного обследования. Прежде всего они дают представление о степени очистки солода, его цвете, запахе и вкусе.

1.8.1.1. Степень очистки. Степень очистки определяют путем контроля за удалением ростков солода, содержанием сорняков, пыли, посторонних, колотых, заплесневевших или непроросших зерен.

1.8.1.2. Цвет солода должен быть желтоватым и чистым. Заплесневевший солод характеризуется наличием зеленых, черных или красных пятен. Железосодержащая замочная вода придает солоду матовый, почти серый оттенок. «Тигренное» указывает на применение при подсушивании и сушке солода мазута с большим содержанием серы. Сортирование солода по содержанию красных зерен важно для профилактики повышенного пенообразования пива, гашинг-эффекта (см. раздел 7.6.7).

1.8.1.3. Запах и вкус зависят от типа солода. Светлый солод характеризуется слабым, а темный — сильным хлебным ароматом, но запах должен быть чистым, не затхлым, кислым или подгорелым, без постороннего запаха плесени. Солод с плесневелым или землистым запахом или вкусом или земли следует браковать, как и солод с дымным привкусом. Запах надежно определяется при затирании солода.

1.8.2. Механический анализ

К механическим анализам относят определение массы гектолитра и 1000 зерен, качества сортирования, засоренности, мучнистости, рыхлости, плотности и развития зародышевого листка.

1.8.2.1. Масса гектолитра дает представление об объеме солода; на ее основании невозможно рассчитать массу гектолитра исходного ячменя и потери. Масса 1 гл изменяется от 47 до 60 кг. Масса 1 гл хорошо растворенного и высушенного солода составляет от 48 до 55 кг. Более точно объем солода можно определить по его плотности, которая составляет 1,08-1,20 г/см³; у хорошего солода она не должна превышать 1,12 г/см³. Чем лучше и равномернее растворено зерно, тем ниже его плотность, которая повышается при значительной степени обрушки и больших потерях цветочной оболочки на солодовенных предприятиях. Наиболее надежные показатели получают при определении плотности свежесушенного солода после отбивки ростков.

1.8.2.2. Масса тысячи зерен солода тем меньше, чем лучше солод растворен и чем больше потери на дыхание при проращивании. Масса 1000 зерен в пересчете на воздушно-сухое вещество составляет 28-38 г, а масса сухого вещества — 25-35 г. Масса тысячи зерен темного солода меньше, чем светлого.

Сортирование позволяет судить об однородности зерен по размеру.

1.8.2.3. Стекловидность солода. Надежным методом определения стекловидности зерен является проба на срез, выполняемая путем поперечного разреза точно по середине зерна, однако при поперечном разрезе о стекловидности концов зерна и на этом основании — о равномерности растворения судить невозможно. Объективное представление о свойствах эндосперма дает только продольный разрез, но поскольку для анализа требуется разрезать 200 зерен особым образом, этот метод оказывается весьма трудоемким.

Количество полностью стекловидных зерен свидетельствует о количестве непроросших зерен и не должно превышать 2 %. Мучнистость светлого солода должна составлять более 95 %.

1.8.2.4. Рыхлость солода можно определить с помощью пробы на погружение (< 10 % всплывших зерен — «очень хорошо») и с помощью фриабиметра Шапо. У хорошо растворенного солода количество мучнистых зерен должно составлять более 80 %, а полностью стекловидных — менее 2 %. Зачастую полустекловидную фракцию (размером более 2,2 мм) дополнительно просеивают через сортировочное сито. Определить степень растворения и выполнить расчет однородности позволяют также методы окрашивания калькофлером и метиленовым синим.

1.8.2.5. Рост зародышевого листка дает представление о равномерности проращивания и связан с происходящими в солоде превращениями, а следовательно, и с процессом растворения эндосперма. Средняя длина зародышевого листка у светлого солода составляет 0,7-0,8, у темного — выше 0,8.

1.8.3. Технохимический анализ

Технохимический анализ включает определение влажности, способности к осахариванию и выхода экстракта. Лабораторный (конгрессный) анализ проводится с солодом как тонкого, так и грубого помола. Полученное лабораторное сусло служит основой для последующих исследований цветности, внешнего вида, продолжительности фильтрования, запаха и вкуса. Кроме того, определяют

содержание азота, гумми- и дубильных веществ, также конечную степень сбраживания, на основании которых можно делать выводы о возможности дальнейшей переработки солода.

1.8.1.3. Влажность свежесушенного солода составляет 1,5-4,0% (влажность темного солода ниже, чем светлого). При хранении влажность, как правило, возрастает на 0,5-1 %, и по современным представлениям она не должна превышать 5,0 %.

1.8.3.2. Экстрактивность солода (лабораторный выход экстракта) в пересчете на воздушно-сухое вещество солода составляет 72,79 %. Выход экстракта в пересчете на СВ солода — от 77 до 83 %, причем для стандартного солода — более 80 %.

1.8.3.3. Разность экстрактов солода грубого и тонкого помолов характеризует степень цитолитического растворения и одновременно ферментативный потенциал солода. Согласно требованиям ЕВС эта разность у хорошо растворенного солода не должна превышать 1,8%.

1.8.3.4. Вязкость конгрессного суслу дополняет результаты предыдущего метода и составляет 1,48-1,75 (обычно 1,52-1,58 мПа · с).

1.8.3.5. Продолжительность осахаривания у светлого солода составляет 10-15, а у темного 15-30 мин. Кроме того, контролируют запах затора и конгрессного суслу. У разбавленного (в соотношении 1 : 6) конгрессного суслу запах менее стойкий и поэтому является показательным только при наличии грубых технологических ошибок.

1.8.3.6. Цветность конгрессного суслу в настоящее время определяют только

в единицах ЕВС. У светлого солода цветность составляет 2,5-4 ед. ЕВС, у среднеокрашенного («венского» типа) — 5-8 ед., а у темного — 9,5-21 ед. ЕВС. Наиболее наглядное представление о цветности можно получить после кипячения конгрессного суслу. У солода пильзеньского типа цветность конгрессного суслу должна быть ниже 3,0, а цветность кипяченого суслу — ниже 5,2 ед. ЕВС.

1.8.3.7. Внешний вид суслу, а также скорость его фильтрования необходимо контролировать. Ценится высокая скорость фильтрования и прозрачность конгрессного суслу.

1.8.3.8. Конечная степень сбраживания конгрессного суслу должна составлять более 80 %. Как правило, это значение имеют немецкие чистосортные ячмени.

1.8.3.9. Степень расщепления белков оценивается по степени растворимости белка (число Кольбаха). У солода с содержанием белка около 10,5% хорошей считается степень растворимости 38-42 %. У темного солода вследствие расходования низкомолекулярного азота на образование меланоидинов она ниже и составляет 37-40 %. Так как число Кольбаха при различном содержании белка в солоде может существенно отличаться, обычно указывают количество растворимого азота на 100 г СВ солода. Обычно оно составляет 640-700 мг, но у солода, богатого белком, оно может быть и выше (см. раздел 1.4.1.2). Как правило, свободный α-аминный азот должен составлять около 20 % общего растворимого азота.

1.8.3.10. Четырехзаторный метод по Гартонгу-Кречмеру подразумевает проведение 4-х различных затираний при

температурах 20, 45, 60 и 80 °С. и дает критерии для оценки содержания экстракта, ферментативной активности солода и его рыхлости. Стандартные показатели для удовлетворительно растворенного солода составляют для *VZ* при 20 °С — 24 %, *VZ* при 45 °С - 36 %, *VZ* при 65 °С - 98,7 % и *KZ* при 80 °С - 93,7 %. Показатель переработки представляет собой разность средней величины по четырем заторам и 58,0. Тем самым значение показателя находится в интервале от 0 до 10 и оценивается следующим образом: 0-3,5 — «недорастворён», 4-4,5 — «слабо растворён», 5 — «удовлетворительно», 5,5-6,5 — «хорошо растворён», 6,5-10 — «обладает высокой ферментативной активностью». Наиболее наглядным является показатель, получаемый при температуре затирания 45 °С, причем при его использовании можно обойтись без трудоемких методов исследования. Он четко показывает, какие требуется соблюдать требования к ячменю, его обработке до солодоращения, к способам солодоращения и сушки, чтобы получить стандартное значение и даже требуемые 38 %.

1.8.3.11. Значение pH конгрессного сусла обычно составляет около 5,9. Темный солод получается в результате усиленного образования меланоидинов и повышения pH до pH 5,7. Применение серосодержащего топлива при подсушивании и сушке снижает значение pH примерно на 0,15, что обычно способствует увеличению выхода экстракта и повышает показатели растворения (например, показатель степени растворения белка при 45 °С). Расход 1 и. раствора NaOH на первой стадии (pH до 7,07) составляет обычно 3,8-4,2, на второй (pH до 9,0) - около 10,5-13 см³; в результате общая кислотность составляет 14,3-17,2 см³.

1.8.3.12. Стойкость солода при сушке невозможно надежно определить ни с помощью определения его способности к проращению, ни досушиванием (5 ч при температуре 86 °С). Цветность сусла после кипячения также не дает исходных данных, хотя она и является своего рода индикатором ожидаемого цвета пива. Цветность сусла после кипячения зависит от сорта и происхождения ячменя, от способа солодоращения и от температуры сушки (см. раздел 1.6.1.2) — она тем больше, чем выше температура сушки. Для светлого солода она составляет 1,5-3,5 ед. ЕВС (обычно 2-2,5 ед. ЕВС). Хорошим индикатором является содержание ДМС-предшественников (допустимое значение в зависимости от способа кипячения сусла составляет 5-7 мкг/кг). Содержание нитрозодиметилamina (НДМА) не должно превышать 2,5 мкг/кг.

Заключение о процессе окрашивания можно дать на основе анализа содержания гидроксиметилфурфурала (ГМФ) или тиобарбитурового числа (ТБЧ). У правильно подсушенного и высушенных солода эти показатели составляют соответственно 5-8 ГМФ и 13-20 ТБЧ.

1.8.3.13. К дополнительным исследованиям относятся прямые методы определения ферментивной активности (диастатическая сила — 220-290 °WK, активность α -амилазы — 30-60 ед. *ASBC*), а также микробиологические, хроматографические и спектрофотометрические анализы. Достаточно достоверный тест для определения возможности гашинг-эффекта можно провести как на ячмене, так и на солоде с помощью несброженного высококарбонизированного экстракта.

Солод должен обладать свойствами, позволяющими провести его хорошую переработку и обеспечить необходимый выход в варочном отделении (в первую очередь, гарантировать быстрое и устойчивое сбраживание). Только в этом случае готовое пиво будет обладать желаемыми свойствами.

1.9. Другие типы солода

1.9.1. Пшеничный солод

Пшеничный солод производят аналогично ячменному, но при этом из-за отсутствия у зерна цветочных оболочек следует учитывать ряд особых моментов.

1.9.1.1. Содержание белка в пивоваренной пшенице должно не превышать 12 %. Озимые сорта пшеницы, обладающие хорошей, но не глубокой растворимостью, а также пониженной стойкостью к поражению микроорганизмами, являются более предпочтительными по сравнению с яровой пшеницей и дают хорошие результаты при солодоращении — прежде всего нормальную цветность солода, сусла и пива. Фенольное число, являющееся грубым индикатором содержания оксидоредуктазы, у такой пшеницы низкое.

Сорта пивоваренной пшеницы, как и сорта пивоваренного ячменя, постоянно совершенствуются, и за информацией о наилучших сортах рекомендуется обращаться к ежегодным изданиям.

1.9.1.2. Солодоращение пшеницы характеризуется стремительным потреблением воды, и при использовавшихся прежде способах замачивания с выраженным

«мокрым» замачиванием его продолжительность сокращается на 30 %, то есть примерно до 48 ч. При современных способах замачивания с воздушными паузами для достижения нужной влажности можно проводить первое «мокрое» замачивание в течение 3 ч до влажности 30 %, а после воздушной паузы в течение 15-18 ч — второе «мокрое» замачивание до влажности, характерной для прорастания и равной 38 % (желательно с температурой 17-18 °С), что достаточно для получения хорошо растворенного солода в течение 6 сут проращивания.

При проращивании следует учитывать, что зерна без цветочной оболочки слеживаются и склонны к перегреву. Поэтому с самого начала требуется более холодное ведение грядки, чем для ячменного солода, вследствие чего зерно на току располагают более тонким слоем. В первые сутки проращивания для обеспечения равномерного прорастания материал ворошат каждые 8-12 ч. На 3-4-е сут. грядку оставляют на 16-20 ч для «схватывания». Зародышевый листок развивается в первые дни под семенной оболочкой, на третьи сутки он ее прорывает и развивается затем сбоку зерна. Слишком частого ворошения следует избегать, чтобы не повредить зародыш, так как его повреждение вызывает развитие на зерне плесени и может помешать преобразованиям веществ внутри зерна.

В солодорастильных ящиках солодоращение можно проводить как при возрастающих (с 12 до 18 °С), так и при убывающих (с 17-18 до 12-13 °С) температурах. По сравнению с пивоваренным ячменем при одинаковой продолжительности проращивания для пшеницы требуются более низкие значения температуры и влажности.

1.9.1.3. Сушка пшеничного солода, особенно на многоярусных сушилках, проводится осторожнее, чем сушка ячменного солода. В одноярусных сушилках высокой производительности подсушивание осуществляется следующим образом: 1-й ч — при 45 °С, 2-й ч — при 50 °С, 3-й ч — при 55 °С, следующие 3 ч — при 60 °С, затем 2 + x ч — при 65 °С до «проскока». Затем через 2 ч производится нагрев до 77° С, и эта температура поддерживается 2 ч, а следующие 2-3 ч поддерживают температуру сушки 80 °С. Во избежание чрезмерного окрашивания рециркуляционный воздух следует использовать несколько осмотрительнее, чем для светлого ячменного солода. Из-за потери ростков содержание белка в солоде на 0,5-0,7 % ниже, чем в исходной пшенице.

1.9.1.4. Анализ пшеничного солода. Влажность пшеничного солода составляет 4,8-5,5 %. Вследствие затрудненного обезвоживания (небольшой зародышевый корешок, меньшая продолжительность сушки) влажность пшеничного солода примерно на 0,5 % выше ячменного. В пересчете на СВ содержание экстракта в зависимости от содержания белка составляет 83-87 %. Содержание белка не должно превышать 11,5 %. При разности экстрактов 1,0-2,0 % вязкость составляет 1,60-1,75 мПа · с. Степень растворения белка из-за потери зародышевого листка ниже, и хорошим считается степень растворения 36-39 %. Число Гартонга (*VZ45* °С) обычно на 2 % выше степени растворения белка. Содержание коагулируемого и осаждаемого сульфатом магния азота в сусле из пшеничного солода примерно в 2 раза больше, чем в сусле из ячменного; содержание свободного аминного азота в сусле из пшеничного

солода составляет 12-14 % всего растворимого азота. Средние значения цветности для светлого пшеничного солода составляют от 3 до 4,5 ед. ЕВС, а темного — 10-20 ед. ЕВС. Высокая диастатическая сила (250-350 °WK) не всегда сопровождается высокой α -амилазной активностью. Конечная степень сбраживания составляет около 80 %.

1.9.2. Солод из других зерновых культур

Для производства диастатического солода и специального пива верхового брожения используют рожь и тритикале, а также двузернянку (пленчатую пшеницу). Рожь из-за высокого по сравнению с пшеницей содержания пентозанов сложнее проращивать, и общая продолжительность замачивания и проращивания составляет 7 сут. при более низкой влажности проращиваемого материала. Во ржи содержится достаточное количество оксидаз, способствующих окрашиванию конгрессного сусла, и подобно работе с пшеницей после подсушивания (подвяливания) следует применять температуру сушки 80-85 °С. Ржаной солод должен быть темнее пшеничного. Аналитические показатели ржаного солода составляют: влажность около 5 %, безводный экстракт — 85-88 %, разность экстрактов — 1,5-2,0 %, вязкость — 3,8-4,4 мПа · с. Содержание белка составляет примерно 10,5-12,0%, а степень растворения белка (45-55 %) свидетельствует о примерном количестве растворимого азота (1 г/100 г СВ). Конечная степень сбраживания — 80-82 %, диастатическая сила — 300-500 °WK, α -амилазная активность — 50-100 ед. *ASBC*. Цветность в зависимости от типа солода составляет 6-20 ед. ЕВС.

1.9.3. Специальные типы солода

Специальные типы солода добавляют к обычной засыпи в определенном процентном соотношении с тем, чтобы повлиять на цвет, вкус, полноту пива, его пенообразующую способность, кислотность и коллоидную стойкость. К специальным типам относят жженный и карамельный солод, меланоидиновый солод, наклюнувшийся и кислый солод.

1.9.3.1. Жженный солод используется для придания пиву определенного более или менее темного цвета. У темного пива невозможно добиться желаемого цвета с помощью только темного солода, и к нему добавляют жженный солод (1-2 %). Для получения его используют увлажненный светлый сухой солод нормального качества, который осторожно нагревают до температуры 200-220 °С при постоянном вращении цилиндрического обжарочного барабана. Ниже температуры 160 °С крахмал солода почти не изменяется, и лишь при 200 °С происходит сначала сильное меланоидинообразование, а затем образование горьких вкусовых веществ, придающих привкус «подгорелости», количество которых можно удерживать в узких границах. Привкусы «подгорелости» и горечи, возникающие при обжарке жженого солода, частично улетучиваются с водяным паром, поэтому жженный солод обжаривают в вакуумных барабанах или по достижении наивысшей температуры незадолго до окончания обжаривания подают в устройство несколько дм³ воды, тем самым способствуя улетучиванию этих веществ. При изготовлении жженого солода ферменты полностью уничтожаются. Эндосперм жженого солода должен быть гомогенным,

рыхлым и темным (кофейного цвета без блеска), а цветочная оболочка — глянцевой.

Относительно недавно начали получать жженный солод из голозерного ячменя, что позволяет добиться устранения негативного влияния горьких веществ цветочной и семенной оболочки. Более известен обрушенный жженный солод, который представляет собой особый продукт: у высушенного солода перед загрузкой обжарочного барабана удаляют большую часть оболочек, включая семенную, и в нем содержится меньше веществ с пригорелым ароматом. Более дешевый пшеничный жженный солод в Германии разрешается применять только для производства пива верхового брожения.

Цветность жженого солода составляет, в зависимости от способа получения солода, 1300-1600 ед. ЕВС. Выход экстракта — до 60-65 % в пересчете на СВ.

В этой связи необходимо упомянуть специальное «красящее пиво (*Farbebier*), применяющееся в качестве заменителя специального солода. «Красящее пиво» — это очень темное пиво, приготовленное на 60 % из светлого и на 40 % из жженого солода с высоким содержанием СВ в готовом сусле. Как пиво оно совершенно не пригодно к употреблению и предлагается в качестве красящего компонента с цветностью около 8000 ед. ЕВС.

1.9.3.2. Карамельный солод используют для формирования различной интенсивности цвета пива, придания ему не только большей полноты, но и более или менее подчеркнутого «солодового» характера. В этих целях к загружаемому солоду для приготовления пива светлых сортов добавляют 3-5 % светлого карамельного солода, а при приготовлении

темного пива — до 10% светлого или темного карамельного солода. Карамельный солод изготавливают из сухого солода, который благодаря замачиванию приобретает влажность до 40-44 %. В конце обычного проращивания температуру зерна поднимают до 40-45 °С отключением вентиляции так, чтобы в течение 12-18 ч достичь интенсивного расщепления клеточных стенок белковых молекул и крахмальных зерен. Этот процесс затем продолжается в обжарочном барабане при температуре 60-75 °С; при этом происходит разжижение и осахаривание крахмала во всем зерне; кроме того, наблюдается обильное образование растворимого азота, повышается кислотность. В конце проводят нагревание до температуры 150-180 °С с одновременным отведением водяного пара, в результате чего формируются характерные для карамелизации сахаристые вещества. В зависимости от интенсивности процесса обжаривания карамельный солод характеризуется различной цветностью — у светлого карамельного солода 20-50, у темного — 100-140 ед. ЕВС. Содержание безводного экстракта в таком солоде составляет 73-78 %. Для более эффективного использования обжарочного аппарата в последний день проращивания свежепросошенный солод нагревают до 40-50 °С с отключением вентиляции. Это приводит к образованию низкомолекулярных продуктов расщепления, при этом происходит разжижение и осахаривание крахмала во всем зерне. Выход водорастворимого экстракта возрастает, даже если он и не достигает величины, характерной для превращений при затирании. Это можно отнести на счет других соотношений концентраций экстракт : вода (от 1 : 0,6 до 1 : 2,5-4) при затирании. При хорошей подготовке в солодорастильном

аппарате для этого требуется 60-90 мин. Очень светлый карамельный солод цветностью 3,5-6 ед. ЕВС в обжарочном аппарате доводят до разжижения зерен в течение 45 мин при температуре 60-80 °С, а затем подсушивают при температуре 55-60 °С.

1.933. Томлёный солод применяют для приготовления особо ароматного пива. Темный свежепросошенный солод примерно через 6 сут. проращивания собирают в грядку высотой около 50 см и оставляют на 30-40 ч для самосогревания, частично накрыв досками или брезентом; температура при этом поднимается до 40-50 °С и больше не увеличивается (из-за накопления в грядке CO₂). В результате в среде, окружающей нижний слой зерна, оказывается больше CO₂, чем в верхнем, рост корешков прекращается, и солод в результате активного ферментативного гидролиза насыщается повышенным количеством сахаров (глюкозой, фруктозой), низкомолекулярными продуктами расщепления белков, а также эфирами и органическими кислотами. Эндосперм зерна частично приобретает мазеобразную или жидкую консистенцию. После осторожного подсушивания для получения цветности солода в 20-50 ед. ЕВС бывает достаточно температуры сушки 80-90 °С. Для усиления характера светлого пива томленный солод добавляют в количестве около 5 % засыпи, а для получения темного пива — до 35 %. Проблемы неконтролируемого обмена веществ и его влияния на вкус и биологическую стойкость пива, обычные для токового солодоращения, в настоящее время считаются решенными (при условии надлежащего приготовления солода в пневматических системах солодоращения). Аналогичные методы применяют для производства

«меланоидинового» солода. Присутствующие в солоде в избытке продукты расщепления крахмала, белка и гемицеллюлозы в процессе сушки при низких температурах (65-70 °С) участвуют в реакции меланоидинообразования, продукты которой обладают редуцирующими свойствами. Такой солод повышает полноту тела пива и, по мнению некоторых специалистов, улучшает его физико-химические свойства и стабильность вкуса.

1.9.3.4. Солод короткого ращения добавляют к засыпи в количестве 10-15 % для компенсации. Этот солод добавляют в различных количествах, чтобы компенсировать слишком сильное растворение стандартного пивоваренного солода. Так, добавление солода короткого ращения в количестве 10-15% повышает пеностойкость пива, однако одновременно повышается содержание в сусле и пиве высокомолекулярных белковых и гумми-веществ, а также вязкость сусла, что может вызвать затруднения при фильтровании пива. Пеностойкость пива можно уменьшить после повторного внесения дрожжей в ту же среду, что зачастую требуется для улучшения вкуса. Еще

одним вариантом применением солода короткого ращения является изготовление хлопьев ячменного солода грубого помола. Для их получения ячмень замачивают, как обычно, и после прорастания его плющат с помощью нагретых паром вальцов.

1.9.3.5. Кислый солод в количестве 2-10 % используют для коррекции значения рН затора, благодаря чему улучшается действие ряда гидролитических ферментов. Активным компонентом этого специального солода является молочная кислота, которой солод обогащают различными способами. Она может образовываться при замачивании солода при температуре 45-48 °С в течение 24 ч под действием молочнокислых бактерий солода. Маточный раствор сливают и используют для подкисления других партий затора. Подкисленный таким образом солод осторожно высушивают при высокой температуре, инактивируя молочнокислые бактерии. При содержании в растворе 2-4 % молочной кислоты значение рН водной вытяжки составляет около 3,8, и ее можно с успехом использовать для подкисления кипяченого сусла.

2. Технология приготовления сусла

2.0. Общие вопросы

Приготовление пива из солода или смеси солода и других видов сырья с использованием воды, хмеля и дрожжей проходит в две стадии: 1) получение в процессе затирания солода осахаренного раствора — сусла и 2) сбраживание сусла дрожжами.

Собственно процесс пивоварения включает несколько технологических операций:

- измельчение солода и других вспомогательных материалов;
- приготовление раствора экстракта в ходе затирания;
- отделение полученного экстракта от осадка и взвешенных частиц в процессе фильтрования;
- кипячение отфильтрованного сусла с хмелем;
- охлаждение кипяченого сусла.

Процесс брожения также делится на несколько стадий: 1) главное брожение в открытых или закрытых емкостях в бройдильном отделении; 2) дображивание

и созревание пива в закрытых емкостях в лагерном отделении и 3) фильтрование и розлив готового пива в бутылки, банки или иные емкости.

2.1. Пивоваренное сырье

2.1.1. Солод

Различают различные типы *ячменного солода* (светлый, темный, «венского» типа). Для пива верхового брожения допускается применение солода, полученного из других злаковых культур, а для подчеркивания определенных свойств того или иного сорта пива применяют и специальные типы солода.

2.1.2. Несоложенные материалы

Для сокращения потерь при солодоращении, экономии крахмалсодержащего сырья и производственных затрат в пивоварении в определенных пропорциях используют и иное крахмалсодержащее

сырье — рис, кукурузу, несоложенный ячмень, иногда пшеницу. Кроме того, допускается внесение различных Сахаров.

Несоложенные материалы необходимо перевести в растворимую форму с помощью ферментов солода. С учетом необходимого хода брожения, условий питания дрожжей и требуемого вкуса пива доля несоложенных материалов не должна превышать определенной величины. В последние годы были получены данные, что добавление к несоложенному ячменю ферментных препаратов способствует существенному сокращению потребности в солоде. Тем не менее в Германии применение несоложенных материалов запрещено (с некоторыми исключениями для пива, поставляемого на экспорт).

2.1.2.1. Доля несоложенного ячменя для нормального фильтрования в фильтр-чане должна составлять около 10 %. Цитолитические ферменты солода в ходе затирания должны способствовать снижению вязкости, обусловленной гумми-веществами ячменя. В пиве, приготовленном с использованием несоложенного ячменя, содержится меньше азота; оно характеризуется пониженной конечной степенью сбраживания, лучшими пенообразующими свойствами, но хуже фильтруется, а стабильность вкуса несколько хуже по сравнению с солодовым пивом. Для устранения этих недостатков, а также в целях повышения возможной доли несоложенного сырья во многих странах вносят ферментные добавки, содержащие амилазы, пептидазы и β-глюкапазы.

2.1.2.2. Рис применяется в пивоварении в виде риса-сечки или рисовой крупки, которые должны иметь чисто белый цвет. Влажность составляет 12-13 %, выход экстракта (определен в лабораторных

условиях с добавлением 50 % солода) в пересчете на воздушно-сухое вещество — 82 % и 93-95 %. Содержание жиров, локализованных в основном в зародыше, составляет 0,5-0,7 %, белка — 8-9 %, клетчатки — 0,5-1 %, а минеральных веществ (в основном фосфатов, калия и магния) — около 1 %. Таким образом, рис дает более высокий выход по сравнению с солодом. Рисовый крахмал, составляющий 80-90 % в пересчете на СВ, состоит из одиночных или соединенных между собой небольших гранул в форме многогранника. Крахмал клейстеризуется зачастую при температурах выше температуры осахаривания. Дополнительное использование риса позволяет получить светлое пиво с несколько более «сухим» вкусом.

2.1.2.3. Кукурузу возделывают во многих странах. В кукурузном зерне содержится 0,5-5,0 % жира (главным образом в зародыше). Для пивоварения кукуруза поступает с удаленным зародышем и применяется в пивоварении в виде кукурузной крупы из цельносмолотого зерна, кукурузной крупки, хлопьев, а с недавнего времени — и в форме чистого кукурузного крахмала. Влажность кукурузы не должна превышать 12-13 %, в противном случае это отрицательно сказывается на стабильности сырья при хранении. Кукурузное масло отрицательно влияет на свойства пива только в случае его прогоркания при хранении, однако содержание жиров в кукурузной крупке хорошего качества составляет менее 1 %. Экстрактивность кукурузной крупки составляет 78-80 % от ВСВ или 87-91 % на СВ. Содержание белков — 8,5-9,0 %, сырой клетчатки — 1,5 %, а минеральных веществ — 1,0-1 %. В кукурузном крахмале практически не содержится азота и жиров,

а выход составляет, в том числе у очищенной крупки вследствие более позднего гидролиза крахмала до мальтозы, около 102 %. Кукурузный крахмал состоит из многогранных округлых гранул диаметром 8-25 мкм и клейстеризуется легче, чем рисовый.

При добавлении кукурузы к засыпи получается приятное на вкус, сладковатое пиво. Количество несоложенного сырья, используемого для затирания, различается по странам, причем иногда оно регламентируется нормативными актами. Если в Европе допускается вносить до 30 % кукурузного сырья, то в США — до 50 %, причем это потребовало изменения состава солода (внесения богатых белком и ферментами видов многорядного ячменя).

2.1.2.4. Сироп получают преимущественно из кукурузного крахмала кислотным или ферментативным гидролизом (или их сочетанием). Экстрактивность всех кукурузных сиропов составляет около 80 %; сбраживаемость сиропов, полученных кислотным гидролизом, достигает примерно 40 %, а при комбинированной кислотно-ферментативной обработке (в зависимости от условий) — 55-78 %. У первой группы сиропов содержание глюкозы составляет около 40 %. Сиропы, используемые для варки сусла в качестве добавки, характеризуются нормальным йодным окрашиванием и рН 4,8. Соли, образующиеся при нейтрализации, удаляют с помощью ионообменника, а красящие и вкусовые вещества — путем фильтрования через активированный уголь. Прозрачные сиропы хорошо хранятся, и при низком содержании азота изменения их цвета можно избежать. При внесении сиропов в сусловарочный котел они позволяют осуществлять затирание

и фильтрацию затора с использованием 100 % солода и тем самым упрощают ведение технологического процесса. Экстракт охмеленного сусла можно без потерь увеличить до 15-18 %, то есть получать высокоплотное сусло (см. главу 9).

2.1.2.5. Сахар добавляют при получении светлого лагерного пива в сусловарочный котел незадолго до перекачки охмеленного сусла в целях повышения содержания сбраживаемых Сахаров и снижения содержания азота. У солодового и диетического пива сахар добавляют после фильтрования для придания желаемого характера этим сортам пива и доведения до требуемого уровня массовой доли сухих веществ в начальном сусле.

Сахар вносят или в виде *сахарозы* в твердой или жидкой форме, или как *инвертный сахар*, или в виде *глюкозы*. При получении диетического пива сахар можно вносить также в форме *сахарного колера*, который получают путем нагревания глюкозы или сахара-сырца с последующим разведением. Экстрактивность сахарных растворов в зависимости от концентрации варьирует от 65 до 85 %.

2.1.3. Вода

2.1.3.1. Состав воды. Обычная вода, применяемая в производстве, содержит некоторое количество солей, что объясняется естественным круговоротом воды в природе. Вид и количество солей зависят в основном от геологических и химических свойств грунтов, через которые фильтруется вода, но в воду могут попадать и иные вещества и микроорганизмы. Проходя через коренные горные породы с небольшим количеством водорастворимых солей, вода поглощает незначительное количество солей, зато

обогащается свободным CO_2 , который может действовать агрессивно. В осадочных (известняковых, доломитовых) породах вода, напротив, обогащается значительным количеством солей, особенно под влиянием диоксида углерода из поверхностных слоев грунта. Соли, присутствующие в воде, частично взаимодействуют с веществами солода и суслы, влияя при этом на ферментативные процессы. Эти реакции зависят от вида и концентрации солей, от состава солода и от условий процесса пивоварения.

Содержащиеся в производственной воде соли относительно сильно разбавлены, вследствие чего они всегда глубоко диссоциированы, в связи с чем целесообразно учитывать влияние катионов и анионов на процесс приготовления пива. К основным ионам, присутствующим в природной воде, относятся катионы H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} , Al^{3+} , а также анионы (OH^-), Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} . Катионы и анионы находятся в равновесии.

Чаще всего в воде присутствуют ионы кальция, гидрокарбонаты и ионы магния (их состав непостоянен); ионы калия встречаются редко. Содержание ионов кремниевой кислоты редко бывает более 15-30 мг/л, за исключением вулканических районов, где, однако, присутствует и сода. Содержание ионов железа в количестве более 1 мг/л не допускается. Нитрат-ионы присутствуют в любой воде, и их содержание более 30 мг/л нежелательно, так как дрожжи редуцируют нитраты до летальных для дрожжей нитритов. В бедной солями воде даже низкое содержание нитрата может являться отрицательным фактором. Наличие ионов железа, а также аммония и фосфатов свидетельствуют о фекальном загрязнении

воды. Кроме указанных ионов в технологической воде содержится определенное количество органических веществ, которые, хотя и являются технологически безопасными, могут отрицательно сказываться на вкусовых характеристиках воды.

Наряду с бикарбонатными ионами в воде зачастую содержится и недиссоциированный диоксид углерода. Для длительного удержания бикарбонатов в растворе требуется определенное количество свободного диоксида углерода; кроме того, если в воде присутствует CO_2 , она является агрессивной, то есть обладает коррозионными свойствами.

2.1.3.2. Жесткость воды является количественным отражением состава химически активных солей воды. Немецкий градус жесткости ($^\circ\text{dH}$) соответствует 10 мг $\text{CaCO}_3/\text{л}$. Общая жесткость включает все соли кальция и магния угольной, серной и других кислот и может колебаться от 1 до 30 $^\circ\text{dH}$ и даже выше. Вода с жесткостью 8-12 $^\circ\text{dH}$ является водой средней жесткости, менее 8 $^\circ\text{dH}$ — мягкой, а более 12 $^\circ\text{dH}$ — жесткой, однако показатель общей жесткости недостаточен для технологической классификации воды. Следует различать карбонатную жесткость, которая обуславливается присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, и некарбонатную жесткость, которая зависит от присутствия в воде солей кальция и магния серной, азотной и соляной кислот. По показателям общей жесткости, карбонатной и некарбонатной жесткости различают различные типы пивоваренной воды: если преобладает карбонатная жесткость, то говорят о «карбонатной» воде, при преобладании солей серной кислоты — о «сульфатной» воде и т. д. Основные типы пива

можно соответственно соотнести с пивоваренной водой совершенно конкретно-го состава.

Так, например, жесткость мюнхенской воды для пивоварения почти исключительно обусловлена наличием карбонатов, дортмундская вода характеризуется преобладанием некарбонатной жесткости, вызванной наличием сульфатных ионов при достаточном содержании карбонатов. Пльзеньская пивоваренная вода, напротив, крайне бедна солями и является мягкой (см. табл. 2.1).

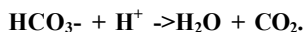
Воду, встречающуюся в природе, подразделяют на подземную (родниковую), грунтовую и поверхностную (из водохранилищ, рек и озер).

2.1.3.3. Действие ионов воды. Ионный состав производственной воды влияет на все процессы приготовления сусла и пива. В пивоварении следует различать следующие реакции:

- взаимодействие ионов воды с растворимыми веществами солода;
- воздействие ионов воды на ферменты;
- влияние ионов воды на важные для технологии составные части хмеля.

В первую очередь речь идет о влиянии ионов воды на компоненты солода и хмеля, на значение рН затора и сусла, а также на вкус пива. Наряду с химически нейтральными ионами необходимо

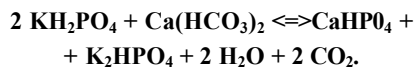
различать ионы, повышающие и понижающие значение рН. Ионы, повышающие значение рН, — это исключительно гидрокарбонатные ионы, взаимодействующие с H^+ -ионами, например, при нагревании или химических реакциях с высвобождением CO_2 :



Ионами, повышающими значение рН, являются Ca^{2+} и Mg^{2+} , причем эффективность последнего вдвое меньше, чем Ca^{2+} :



При реакции гидрокарбоната кальция с однозамещенным кислым фосфатом калия (KH_2PO_4) образуется растворимый двухзамещенный фосфат калия, снижающий значение рН затора:



Образующийся при этом фосфат кальция нерастворим и выпадает в осадок вместе с трехзамещенным фосфатом кальция, образующимся при большом содержании гидрокарбоната кальция.

Взаимодействие гидрокарбоната магния с фосфатами протекает аналогично за тем исключением, что двухзамещенный фосфат магния, имеющий щелочные свойства, остается в растворе и снижает значение рН затора.

Таблица 2.1. Жесткость некоторых типов воды

Показатель	Мюнхенская вода	Дортмундская вода	Пльзеньская вода
Общая жесткость, °dH	14,8	41,3	1,6
Карбонатная жесткость, °dH	14,2	16,8	1,3
Некарбонатная жесткость, °dH	0,6	24,5	0,3
Кальциевая жесткость, °dH	10,6	36,7	1,0
Магниевая жесткость, °dH	4,2	4,6	0,6
Остаточная щелочность, °dH	10,6	5,7	0,9
Сухой остаток, мг/л	284	1110	50

Гидрокарбонат натрия еще в большей степени нейтрализует кислотность, поскольку при его взаимодействии с фосфатами сусла образуются только растворимые продукты реакции, которые остаются в сусле.

Щелочность воды обусловлена в основном концентрацией содержащихся в ней гидрокарбонатных ионов и при условии отсутствия щелочных карбонатов (например, соды) общая щелочность является мерой карбонатной жесткости воды. Действие гидрокарбонатных ионов компенсируется ионами Ca^{2+} . Чтобы получить представление об этом с учетом действия ионов, уменьшающих или увеличивающих кислотность, рассчитывается остаточная щелочность по Кольбаху. Компенсированная кальцием и магнием щелочность рассчитывается по «показателю кальция», равному кальциевой жесткости + $\frac{1}{2}$ магниевой жесткости, который делится затем на 3,5 (для нейтрализации щелочности эквивалента гидрокарбоната требуется примерно 3,5 эквивалента кальция). Таким образом, остаточная щелочность равна общей щелочности минус компенсированная щелочность, или

$$\frac{\text{Остаточная щелочность}}{\text{Общая щелочность}} = \frac{\text{Показатель кальция}}{3,5}$$

Вода с остаточной щелочностью, равной 0, имеет такую же кислотность и, следовательно, такое значение pH затора и сусла, что и дистиллированная вода. Подготовка воды с остаточной щелочностью ниже 5 °dH для приготовления светлого пива уже нерентабельна, однако для получения пива *Pilsener* с выраженным хмелевым вкусом и ароматом требуется еще более низкая остаточная щелочность.

Помимо фосфатов с гидрокарбонатными, кальциевыми и магниевыми ионами

взаимодействуют органические кислоты и их калийные соли, присутствующие в небольших количествах в сусле. В ходе их реакции с фосфатами фосфат кальция выпадает в осадок, а фосфат магния остается в растворе. Выпадение фосфатов в осадок и снижение содержания в сусле буферных веществ вызывается как гидрокарбонатными, так и щелочноземельными ионами.

Последствия уменьшения кислотности в результате слишком высокой остаточной щелочности могут быть очень важными. Так, например, ферменты при повышенном значении pH действуют хуже, что при расщеплении крахмала проявляется в неблагоприятном влиянии на конечную степень сбраживания, а при расщеплении белка — в ограничении действия эндо- и определенных экзопептидаз, тем самым влияя на снижение растворимости белка. Активность фосфатаз снижается, что при выпадении фосфатов в осадок проявляется в существенном снижении буферности. В этих условиях ослабевает и действие глюканаз, что в свою очередь приводит к замедлению фильтрования. Подавление ферментативной активности может привести к снижению выхода экстракта на 1-3%.

Следствием повышенных значений pH во время кипячения сусла является усиленное выщелачивание из оболочек полифенолов с незначительным индексом полимеризации и ухудшение возможности отделения взвесей. Повышенное содержание дубильных веществ солода и хмеля в таком сусле придает суслу или пиву более темный цвет. Повышенное значение pH сопровождается интенсивным извлечением из хмеля высокомолекулярных горьких соединений (гумулатов), которые могут придавать вкусу пива грубую царапающую горечь. Уменьшение

дозировки горьких веществ, рекомендуемое для сусла из воды с высокой остаточной щелочностью, приводит к достижению требуемого уровня горечи, но не обеспечивает нужного качества.

Темный солод характеризуется более высокой степенью растворения, чем светлый. Более низкое значение pH хорошо растворенного солода и кислая реакция меланоидинов при изготовлении темного пива способны до некоторой степени компенсировать без негативных последствий остаточную щелочность в 10 °сН.

Уменьшение кислотности проявляется и при брожении: оно замедляется, дрожжи приобретают мажущую консистенцию, уменьшается степень сбраживания и ухудшается состав пива вследствие менее полного удаления белка, дубильных веществ и хмелевых смол.

2.1.3.4. Водоподготовка. Чтобы иметь возможность использовать для производства светлого качественного пива и жесткую воду, ее либо декарбонизируют, либо по мере необходимости проводят обессоливание. Для этого существуют следующие методы:

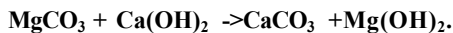
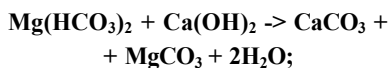
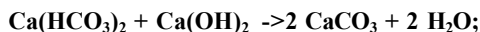
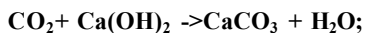
- кипячение производственной воды при нормальном атмосферном или избыточном давлении;
- добавление насыщенного раствора известковой воды в точно установленном количестве;
- декарбонизация или полное обессоливание с помощью ионообменников;
- обессоливание электроосмотическим способом;
- обессоливание методом обратного осмоса.

Кроме того, вредное влияние гидрокарбонатов можно компенсировать путем введения ионов кальция в виде гипса или хлористого кальция. Неблагоприятное

действие гидрокарбонатов можно также снизить с помощью кислого солода или сусла с молочнокислыми бактериями.

2.1.3.5. Декарбонизация кипячением полезна лишь при условии преобладания гидрокарбонатной кальциевой жесткости (карбонат магния практически не осаждается), причем следует учитывать, что данный способ является довольно дорогим.

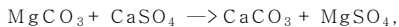
2.1.3.6. Умягчение насыщенным раствором известковой воды получило широкое распространение благодаря простоте, дешевизне и хорошему эффекту умягчения воды. Химические превращения при этом затрагивают свободный диоксид углерода, CaCO_3 и (при достаточной степени щелочности воды, $\text{pH} > 10$) — часть MgCO_3 по следующей схеме:



Известь, добавленная в виде известковой воды, после ряда превращений выпадает в осадок в виде CaCO_3 . Магний выпадает в осадок только в виде нерастворимого гидроксида магния. Все реакции начинаются уже в холодной воде (10–12 °С). При более низкой температуре процесс замедляется, а при более высокой — ускоряется. Эффект умягчения воды необходимо проверить титрованием, так как даже незначительный избыток свободной щелочи приводит к значительным нарушениям при затирании и дефектам готового пива.

Такое простое умягчение применимо, если магниевая жесткость сырой воды

превышает некарбонатную жесткость не более чем на 3°dH. Дополнительное внесение гипса или хлорида кальция способствуют дальнейшему снижению карбонатной жесткости:



однако эту операцию следует проводить осторожно, так как сульфат магния (MgSO_4 , «горькая соль») способен отрицательно влиять на вкусовые характеристики пива.

Если магниевая жесткость воды превышает указанный предел, то благодаря избытку известковой воды щелочность повышается до значения pH 10,5-11, требующегося для осаждения гидроксида магния ($\text{MgCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Mg(OH)}_2$). Эту щелочность снова нейтрализуют после осаждения Mg(OH)_2 путем добавления 35-40 % необработанной воды. Щелочная реакция на фенолфталеин в данном случае (0,2 мл 0,1 н HCl/100 мл воды), как и всегда при декарбонизации известковой водой, не должна превышать половины значения при титровании метилоранжем.

Способ с разведением осуществляется аналогично, но со всем количеством известковой воды сначала смешивается 60 % воды, предназначенной для декарбонизации. После осаждения CaCO_3 и Mg(OH)_2 вода, имеющая сильную щелочную реакцию, нейтрализуется оставшимся количеством сырой воды.

Декарбонизацию известковой водой проводят в простых емкостях или в установках для умягчения воды непрерывного действия, которые дополняют производственным месильным органом. В этом случае более эффективно обрабатывается вода с переменной жесткостью. Установка для умягчения воды непрерывного действия обычно состоит из цилиндрических емкостей с конической нижней частью,

реактора (в котором протекает процесс умягчения) и гравийного или песочного фильтра для окончательного осветления воды. Особенно хорошо поддается умягчению вода с низкой карбонатной жесткостью, так как карбонат кальция склонен к медленной флокуляции. Для интенсификации хода реакции в одноступенчатых системах используется контактная масса из мелкозернистого CaCO_3 или кварцевого песка, способствующая задержанию медленно флокулирующего карбоната кальция. Такие установки ускоренной декарбонизации характеризуются более высокой производительностью на единицу площади, чем обычные проточные установки (контактную массу необходимо периодически удалять). Вместе с тем они не позволяют использовать метод разведения, поскольку на контактной массе может образовываться слизь от выпавшего в осадок гидроксида магния. Для непрерывной декарбонизации, как правило, применяют два реактора: в первой емкости благодаря передозировке известковой воды происходит выпадение в осадок гидроксида магния, а во второй, так называемой «ступени облагораживания», — нейтрализация щелочной воды необработанной водой. В зависимости от свойств воды, турбулентности при ее подаче и продолжительности реакции достигается более или менее существенный эффект умягчения, в целом удовлетворительный. При соответствующем изменении конструкции обе реакционные ступени можно объединить в одной емкости.

В случае повышенного содержания гидрокарбоната магния в двухступенчатую умягчающую установку параллельно подключается слабокислотный ионообменник, позволяющий обрабатывать воду с повышенной щелочностью.

2.1.3.7. *Ионообменники* служат для декарбонизации воды, богатой магнием, или обессоливания очень жесткой воды. По сравнению с установками для декарбонизации известью ионообменники имеют гораздо меньшие размеры и поэтому их все чаще используют для водоподготовки.

Иониты — это вещества (обычно искусственные смолы), которые присоединяют содержащиеся в растворе электролита положительные или отрицательные ионы (катионы и анионы соответственно), а взамен отдают эквивалентное количество других ионов с тем же зарядом. В зависимости от знака заряда ионов различают катионо- и анионообменники. Применяемые в настоящее время иониты изготавливаются из так называемых гель-смол, матрица которых представляет собой образованный с помощью валентных связей и сил связи решетки каркас, состоящий из нерегулярных высокомолекулярных углеводородов, образующих объемную сеть. Свойства ионитов зависят от величины этих молекул, от числа поперечных связей от количества и вида функциональных групп, которые могут иметь положительный или отрицательный избыточный заряд, нейтрализующийся ионами противоположного знака.

Катиониты имеют матрицу из полимерных смол на основе акрила или стирола. В зависимости от диссоциации функциональных групп могут быть «слабокислыми» или «сильнокислыми». Первые способны обменивать преимущественно ионы кальция и магния, входящие в состав гидрокарбонатов, на ионы водорода, и поэтому их можно использовать для простой декарбонизации воды. Сильнокислые иониты, наоборот, обменивают ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , входящие в состав гидрокарбонатов, а также сульфатов,

хлоридов и нитратов (то есть входящие в состав солей сильных кислот) на ионы H^+ .

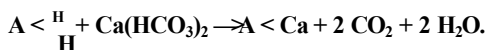
Аниониты имеют матрицу из эпоксидных конденсационных и других смол со «слабоосновной» или «сильноосновной» реакцией. Первые обменивают анионы сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) на гидроксильные или хлорид-ионы, а сильноосновные аниониты способны связывать также анионы очень слабых кислот, например, угольной или кремниевой.

Процесс обмена обратим. Используемый ионит может регенерироваться раствором, содержащим соответствующие ионы: катионит — соляной кислотой, а анионит, в зависимости от того, какой ион участвовал в обмене (OH^- , Cl^-), — едким натром или поваренной солью. Эти реагенты применяются для регенерации обычно в виде 3-8 %-ного раствора.

Ионит должен быть совершенно нерастворим и не отдавать воде никаких веществ с запахом и вкусом. Производительность ионообменника на 1 л ионита составляет 20-50 мг CaO , и по ней рассчитывают размер требуемой реакционной емкости в зависимости от необходимой производительности.

Реакция в ионообменнике проходит следующим образом.

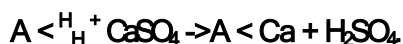
А) слабокислый обмен:



Сходные реакции имеют место и в случае гидрокарбоната магния. Ионы кальция и магния, входящие в состав гидрокарбонатов, почти полностью обмениваются на ионы водорода. Катионы, обуславливающие некарбонатную жесткость, сохраняются, и по этой причине декарбонизация достигает своего предела, если остаточная магниевая жесткость выше 5 °dH.

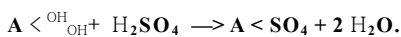
Выделившийся CO_2 агрессивен, и его необходимо удалять. На крупных установках удаление CO_2 осуществляется с помощью орошения и аэрирования воды. Небольшое количество остаточного диоксида углерода (около 10 мг/л) можно нейтрализовать насыщенной известковой водой или мраморными фильтрами (при этом карбонатная жесткость увеличивается на 0,6 или 1,2 °dH). Возможно также смешивание с необработанной водой после орошения, однако в этом случае необходимо точно рассчитать количество CO_2 в необработанной воде.

Б) Сильнокислый обмен:

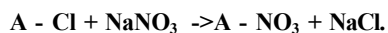
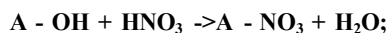


В данном случае удаляются ионы натрия гидрокарбонатной жесткости. Также реагируют MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , Na_2SO_4 , NaNO_3 и т. д. В качестве продуктов обмена образуются свободные неорганические кислоты, которые необходимо нейтрализовать. Для этого применяют либо смешивание с необработанной водой, которое возможно только при некарбонатной жесткости менее 5 °dH (для поддержания магниевой жесткости чистой воды на низком уровне), либо нейтрализацию насыщенной известковой водой. При этом все некарбонаты переходят в форму кальциевых солей, но некарбонатная жесткость полностью сохраняется. Таким способом декарбонизируют воду, некарбонатная жесткость которой составляет 12-15 °dH. Кроме того, иногда пользуются третьей возможностью нейтрализации свободных неорганических кислот, а именно анионным обменом, уменьшающим некарбонатную жесткость воды.

В) Анионный обмен:



Таким образом, можно осуществить практически полное обессоливание воды, но для обработки пивоваренной воды этого не только не требуется, но и нежелательно. Необходимая жесткость может быть достигнута путем смешивания с необработанной водой. При наличии нитратов, как правило, бывает достаточно параллельно подсоединенного анионообменника, что может быть реализовано двумя способами:



В последнем случае отпадает необходимость в предшествующем катионном обмене. Так как концентрация хлора в воде не должна превышать 100 мг/л из-за опасности коррозии, то хлоридные обменники можно использовать с большими оговорками.

Относительно недавно стали применяться так называемые *нитратоспецифичные ионообменники*, то есть анионные обменники, регенерируемые с помощью соляной кислоты (полученной, например, при регенерации сильнокислого катионного обмена) и дополнительно с помощью серной кислоты. При регенерации с требуемым соотношением в воде хлоридных и сульфатных ионов, нитратные ионы заменяются на Cl^- и SO_4^{2-} . Образующиеся свободные неорганические кислоты должны затем нейтрализоваться насыщенной известковой водой, так что некарбонатная жесткость представлена солями кальция. Содержание нитрата в воде можно снизить примерно до 3-5 мг/л (в зависимости от необходимого количества известковой воды, с которой снова вносится нитрат). Вода сохраняет свою первоначальную некарбонатную жесткость, которая увеличивается на соответствующую долю нитрата.

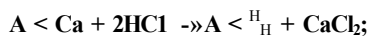
Дозу хлорида или сульфата кальция, необходимую при полном обессоливании, при этом можно уменьшить или даже полностью исключить. Полное обессоливание, полученное при использовании катионо- и анионообменников, позволяет проводить такую водоподготовку, после которой вода считалась бы прежде непригодной для производства пива.

В целях экономии реагентов часто перед сильнокислотным ионообменником подключают слабокислотный.

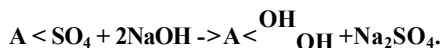
Для увеличения производительности установки или для улучшения достигаемого эффекта умягчения установку для декарбонизации известью комбинируют со слабокислотным ионообменником.

При регенерации истощенного ионита наблюдаются процессы, обратные процессам обмена:

в катнонитовых ионообменниках:



в анионитовых ионообменниках:



Образовавшиеся растворимые соли удаляют путем промывки ионообменника. Расход реагентов для регенерации зависит от диссоциации ионита. Так, например, слабокислотный ионообменник поглощает 105 % от теоретически определенного количества реагента, а сильнокислотный — 250 %. Если проводить регенерацию не прямоточным, а более эффективным противоточным способом, то расход химикатов можно снизить до 140 %, а при комбинированном использовании слабо- и сильнокислого ионообменников — даже до 110%. Можно также существенно сократить количество промывной воды. В анионообменниках

требуется расход химикатов, соответствующий степени диссоциации.

Образующиеся при регенерации кислые и щелочные воды следует нейтрализовать в заводских очистных установках. Ионообменники (включая регенерацию) можно эксплуатировать в автоматическом режиме.

2.1.3.8. Еще один способ полного обессоливания предоставляет *электроосмос*. Под действием постоянного тока ионы солей воды перемещаются в зависимости от знака заряда к катоду или аноду, которые отделены от воды, предназначенной для обессоливания, проницаемыми для ионов мембранами. Ионы, накапливающиеся на электродах, удаляют путем промывки необработанной водой. Обессоливание необработанной воды, находящейся между обеими мембранами, идет тем сильнее, чем продолжительнее действие электрического тока. Таким образом, из воды можно полностью удалить все электролиты (за исключением кремниевой кислоты).

Катоды изготавливают из железа, цинка или олова, а анод — из магнетита. Мембраны выполнены из вулканизированной резины или хромжелатина. Производительность установок можно подобрать путем последовательного подключения нескольких элементов. Затраты на данный способ определяются в основном стоимостью потребляемой электроэнергии (в зависимости от жесткости необработанной и очищенной воды она составляет 15–45 кВт · ч/м³). Целесообразным считается проведение предварительной декарбонизации.

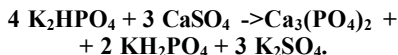
2.1.3.9. *Обратный осмос*. При обратном осмосе у двух растворов различной концентрации, разделенных полупроницаемой

мембраной, наблюдается стремление к выравниванию концентраций. При этом происходит переход растворителя с меньшей концентрацией через мембрану в раствор с более высокой концентрацией до тех пор, пока содержание солей в обоих растворах не сравняется. Необходимое для этого осмотическое давление зависит от разницы концентрации обоих растворов. При обратном осмосе со стороны концентрированного раствора (концентрата) создается давление, которое превышает осмотическое, и чистая вода (пермеат) диффундирует через полупроницаемую мембрану. Таким образом, это осмос наоборот. Наряду с ионами при обратном осмосе могут задерживаться также органические вещества. При технической реализации обратного осмоса обрабатываемую воду предварительно очищают с помощью фильтра тонкой очистки и затем доставляют насосом высокого давления на осмотическую мембрану (модуль) из полиамидных полых волокон. Рабочее давление составляет 28 бар. Пермеат проникает через мембрану, а концентрат отводится. Для повышения производительности воду подогревают; при добавлении серной кислоты часть гидрокарбонатов переходит в сульфаты, а высвобождающийся CO_2 удаляют в оросителе. Во избежание осаждения в концентрате солей жесткости можно добавлять фосфат, который задерживается мембраной. Если требуется получить пермеат с низким содержанием солей, то его выход составит около 75 %; при выходе пермеата в 90 % неизбежно более высокое содержание в нем солей, составляющее около 10%, что для большинства типов воды и может считаться приемлемым. Концентрат можно использовать в качестве промывной воды, а также (после карбонизации и обеззараживания) — в качестве

столовой воды (благодаря содержащимся в нем солям). К производственным затратам относится в основном стоимость электроэнергии ($1,5\text{--}2,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$) и расходы на химикаты для кондиционирования.

2.1.3.10. Прочие методы

Добавка хлорида кальция или гипса позволяет компенсировать кислотопонижающие свойства бикарбонатов. Гипс, например, превращает вторичные фосфаты со щелочной реакцией в первичные с кислотной реакцией, в то время как третичные щелочные фосфаты осаждаются:



Хотя при этом кислотность затора улучшается, следует отметить потерю фосфатов. Образовавшийся сульфат кальция характеризуется неприятным вкусом, и слишком больших добавок гипса (более 30 г/гЛ) следует избегать. Хлорид кальция оказывает более благоприятное действие на вкусовые характеристики, придавая пиву полноценный мягкий иногда несколько солоноватый вкус, тогда как гипс придает пиву немного «суховатый» характер. Добавка этих солей в декарбонизированную пивоваренную воду вполне допустима. Отношение карбонатной жесткости к некарбонатной 1 : 2,5 улучшает вкус пива, а при их отношении 1 : 3,5 цвет пива светлеет.

Аналогичные результаты можно получить с помощью *нейтрализации бикарбонатов неорганическими кислотами*. При этом способе (запрещенном в Германии) используют соляную, серную, фосфорную и молочную кислоты. Общая жесткость воды не меняется, лишь карбонатная жесткость смещается в сторону гидрокарбонатной. Соотношение карбонатной

и гидрокарбонатной жесткости должно составлять 1 : 2-2,5. Так как следствием применения такого способа является высвобождение диоксида углерода, вода становится более агрессивной, что следует учитывать при ее хранении и предварительном нагревании.

Наряду с этими способами умягчения воды может понадобиться удаление вредных ионов, например, железа, марганца, кремниевой кислоты или агрессивного диоксида углерода.

Железо и марганец; в количестве более 1 мг/л негативно влияют на вкус и цвет пива, причем от отложений окислов этих металлов может пострадать водопроводная сеть. Оба металла удаляют с помощью аэрации и последующей фильтрации воды. Железо и марганец можно осаждают при декарбонизации известью вместе с выпадающими в осадок солями жесткости; для ионообменников и мембран обратного осмоса, напротив, требуется предварительное обезжелезивание воды.

Декарбонизации воды иногда препятствует *кремниевая кислота в коллоидной форме*, которую можно перевести в осадок при помощи коагулянтов (флокулянтов). Удаление ионов SiO_3^{2-} с помощью сильноосновных ионообменников обходится довольно дорого.

Агрессивный CO_2 удаляют способами аэрирования и орошения через мраморный фильтр, доводя остаточное содержание CO_2 до 6-10 мг/л. Полностью он удаляется только с помощью декарбонизации известью.

Если запах или вкус необработанной воды не идеален, то для фильтрования рекомендуется использовать фильтр из активированного угля и предварительное аэрирование (при необходимости). При помощи угольного фильтра можно

также уменьшить содержание или полностью удалить вещества, загрязняющие окружающую среду, в частности, так называемые галоформы.

К установке для полного умягчения воды рекомендуется подключить фильтр из активированного угля, однако он должен предназначаться не для осветления воды, а служить лишь элементом безопасности. Такой фильтр рекомендуется также для полного удаления из воды поглощенных оснований.

Для биологического исправления пивоваренной воды применяют хлор (в виде газообразного хлора или гипохлорита), озонирование, ионы серебра, обеззараживание ультрафиолетовым излучением или обеспложивающее фильтрование. Перед подачей на ионообменники хлорированную воду предварительно следует пропустить через фильтр из активированного угля. При обратном осмосе свободный хлор необходимо связать химически, при этом продукт реакции удерживается мембраной.

2.1.3.11. Декарбонизация или обессоливание пивоваренной воды оказывает положительный эффект при производстве светлого пива. Результатом снижения значения pH при затирации и кипячении сусла является повышение конечной степени сбраживания, улучшение показателей расщепления белка, ускорение фильтрования, более эффективное выпадение белка в осадок при кипячении сусла, увеличение выхода и более высокая степень сбраживания, а также более светлый цвет пива и мягкая хмелевая горечь. Из-за этого может потребоваться увеличение внесения в сусло хмелепродуктов. Интересно, что значение pH пива изменяется иначе. Благодаря более эффективному действию фосфатаз при затирации

в сочетании с пониженным осаждением фосфатов у сусла отмечается повышенная буферность, которая оказывает противодействие снижению значения pH в процессе брожения.

Чтобы несколько ограничить буферность сусла и тем самым получить более благоприятные значения pH пива, целесообразным оказывается введение гипса или хлорида кальция и, как уже упомянуто, доведение соотношения карбонатной и некарбонатной жесткости до 1 : 2-2,5.

Другой возможностью является подкисление затора или сусла. В Германии разрешается применять только кислый солод (см. раздел 1.9.3.5) или подкисленное сусло, которые получают биологическим путем с помощью молочнокислых бактерий, присутствующих на солоде. Кислый солод затирают в количестве 3-6 % от засыпи солода. Полученное при этом снижение pH затора дает те же преимущества, что и декарбонизация пивоваренной воды, однако даже у мягкой воды достигается более благоприятное влияние на процессы затирания. Тем не менее и в данном случае улучшение буферизации противодействует требуемому снижению значения pH, что зачастую проявляется в несколько более «остром» вкусе пива. Наилучшим решением представляется сочетание подкисления затора и сусла, причем последнее на небольших предприятиях можно также осуществить при помощи солодовой вытяжки.

2.1.3.12. Биологическое подкисление происходит под действием присутствующих на солоде молочнокислых бактерий, которые за несколько циклов при оптимальных условиях выделяют специфические штаммы, например *Lactobacillus amylovorus*. Для снижения значения pH сусла на 0,1 требуется 580 г молочной

кислоты/т засыпи (10 г/л), для солода — 290 г молочной кислоты/т засыпи (5 г/л). При пересчете на концентрацию молочной кислоты 0,8% и снижение pH на 0,3 это составляет 1,81 л/гл сусла.

Подкисление происходит следующим образом: неохмеленное сусло с массовой долей СВ 10 % засевают культурой этих бактерий. Через 24 ч при температуре 47-48 °С содержание молочной кислоты достигает 0,7-0,8 %, а еще через 8-12 ч — своего предельного значения (1 %). С точки зрения способности к размножению молочнокислых бактерий целесообразно поддерживать концентрацию кислоты на уровне до 0,4 % путем отбора кислого и последующего добавления свежего сусла. При концентрации молочной кислоты 0,7 % это соответствует отбору 50 % от общего объема. После добавления свежего сусла содержание молочной кислоты снова оказывается ниже 0,4 %, и уже через 9-10 ч содержание молочной кислоты снова достигает 0,7-0,8 %. Поэтому из одной емкости из нержавеющей стали с термостатическим обогревом молочную кислоту можно отбирать дважды в день, и для двух варок в сутки требуется лишь одна емкость.

При понижении pH сусла на 0,1 количество молочной кислоты, необходимое для одной варки, составляет 0,5 % от общего объема. 20-25 % из этого количества вносят в затор в начале затирания, а остаток — в конце варки сусла в виде добавки.

При 8 варках в сутки для подкисления затора и сусла требуется реактор объемом 25 гл/т засыпи (или 17 гл/т засыпи при подкислении только сусла). Правда, требуется еще один накопительный танк для молочной кислоты примерно такого же объема, из которого после того как молочная кислота достигнет

концентрации около 1 %, сливается сусло, подкисленное молочной кислотой. Отобранное количество затем вновь добавляют к суслу из текущей варки, при этом можно получить концентрацию молочной кислоты около 0,3 % или скачок pH до значения 4,0. В накопительном танке продолжается процесс образования кислоты, которая достигает концентрации 1,3–2,0 % в зависимости от экстрактивности (неохмеленной) закваски. Во время перерывов, например с конца недели варки до начала следующей недели концентрацию молочной кислоты необходимо снова понизить примерно до 0,3 %, а при достижении значения 0,6–0,7 % — охладить ниже 30 °С. Во избежание контаминации микроорганизмами рода *Candida* и другими вредными для сусла микроорганизмами в ходе всего процесса биологического размножения подкисляющих микроорганизмов используют окуривание CO₂.

Улучшение образования ферментов при затирании позволяет существенно сократить процесс затирания, а низкое значение pH при кипячении сусла способствует лучшему осаждению белков, активизации брожения, а также получению очень светлого, стабильного, пеностойкого пива с мягким вкусом. Технология затирания при этом характеризуется простотой и безопасностью (при условии поддержания требуемого температурного режима).

2.1.4. Хмель

2.1.4.1. Общие положения. Добавка хмеля к суслу является во многих отношениях совершенно необходимой. Он придает суслу горький вкус, определенный аромат и способствует осветлению сусла и пива благодаря осаждению белков.

Кроме того, хмель способствует пенообразованию и является для пива естественным консервантом.

Наиболее важны для пивоварения шишки хмеля, которые образуются только на женских растениях и состоят из:

- гладкого стерженька шишки;
- кроющих листочков с многочисленными небольшими блестящими желто-зелеными клейкими железами, содержащими зерна лупулина, расположенными на внутренней стороне кроющих листочков. В них находится вещество с наиболее ценными для пивоварения компонентами — хмелевым маслом, горькими веществами хмеля и частью дубильных веществ хмеля.

По мере старения хмеля клейкость лупулиновых зёрен уменьшается, они приобретают матовый красноватый оттенок и, наконец, становятся коричнево-красными. Присущий лупулину в свежем виде нежный хмелевой аромат постепенно исчезает, становясь похожим на сырный.

2.1.4.2. Классификацию хмеля обычно осуществляют по месту происхождения и сорту; для сходных сортов доминирующим фактором является район произрастания, так как именно им определяются качественные показатели хмеля. Различные сорта отличаются по размеру и форме шишек и их частей (стерженька и кроющих листочков), по аромату (его определяют по содержанию и типу отдельных хмелевых масел) и по содержанию горьких веществ.

Важнейшими районами возделывания хмеля в Германии являются Бавария (*Hallertau, Spalt, Hersbruck, Kinding*), Вюртенберг (*Tettngang, Rottenburg*) и Баден (*Schwetzingen-Sandlhausen*). Первоначально культивируемые сорта были получены

путем отбора; в настоящее время селекция хмеля ведется путем скрещивания сортов, свойства которых хотят внести в селекционный материал. При этом речь идет о высоком содержании горьких веществ и их приемлемом составе, о желаемом спектре ароматических веществ, о высокой урожайности и, по возможности, устойчивости к болезням растений (в целях проведения возможно меньшего числа обработок гербицидами). В зависимости от свойств отдельных сортов различают «ароматические» сорта и «горькие» сорта, причем в Германии в настоящее время выращивают следующие из них.

Сорт *Hallertauer Mittelfruhe* из-за подверженности увяданию возделывают в небольшом количестве; ему на смену пришел сорт *Hersbrucker Spathopfen* и относительно новый сорт *Perle* с высокой горечью. Новый сорт *Tradition* имеет свойства, сходные с *Hallertauer Mfr.*, однако существенно более стоек. *Spalter* — это сорт, который собираются заменять новым выведенным сортом *Selekt*, а на смену *Hersbrucker* идет новый сорт *Puze*. Сорт *Bitter* занимает промежуточное положение между ароматическими и горькими сортами. К последним относятся англосаксонские сорта *Northern Brewer*, *Brewers Gold* и *Record*. В настоящее время имеется сорт *Magnum*, немецкий аналог американского сорта *Nugget*, богатого горькими веществами, тогда как новый сорт *Orion* скорее соответствует сорту *Northern Brewer*. Как правило, горькие сорта хмеля вносят в сусло для получения определенной начальной степени горечи; они обладают очень насыщенным, скорее резким ароматом. Специфические ароматические компоненты хмеля и состав горьких веществ в нем придают пиву широкий спектр оттенков горечи. Ароматические сорта хмеля обычно имеют

значительно более низкую горечь, а их состав фракций хмелевых масел и горьких веществ придает пиву приятный аромат и более деликатную горечь. Следует отметить, что эти свойства ценятся не всеми пивоваренными предприятиями, которые привыкли пользоваться только горькими сортами.

Обширные области выращивания хмеля расположены в Чехии (Жатецкая, Уштецкая и Тршицкая), где возделываются исключительно ароматические сорта; в Словении и Хорватия (возделываются штирийский сорт *Golding* и горькие сорта хмеля), в Польше (например, сорт *Pulawy*), в Бельгии (возделываются в основном горькие сорта), во Франции (в Эльзасе — ароматический хмель, а в Бургундии — горький); в Великобритании возделываются ароматические сорта *Fuggles*, *Golding*, *Bramling Cross*, горькие сорта *Northern Brewer*, *Bullion*, *Wye Target*, *Northdown*, *Challenger* и др., частично используют хмель с семенами, однако для пива низового брожения используют только хмель без семян. Определенное место на рынке занимает также хмель из Австралии, Китая и США.

На США приходится 35 % мирового производства хмеля. В основном это горькие сорта *Cluster*, *Bullion* и *Brewers Gold*, а также сорта с очень высоким содержанием α -кислот — *Galena*, *Nugget*, *Eroica* и *Olympic*. При этом расширяется применение «классических» сортов — от *Fuggles* и *Cascade* до *Tettnanger* и *Hallertauer*.

Выращивают хмель из маток (рассады) или черенкованием. Растения, закрепленные на шестах или проволоке, достигают полной технической зрелости только на второй или третий год и требуют тщательного ухода. Очень важен правильный выбор момента начала сбора урожая (в Германии это август-сентябрь).

С одной стороны, во время уборки шишки должны быть еще закрытыми во избежание потерь лупулина, а с другой — высокая пивоваренная ценность хмеля достигается лишь при достижении им достаточной зрелости.

2.1.4.3. Предварительная обработка хмеля. Так как в свежесобранных шишках хмеля с коротким стержнем содержится 75-80 % влаги, хмель сушат на специальной хмелесушилке. Во избежание повреждения хмеля сушку следует вести при пониженных температурах (30-50 °С) с использованием сильной воздушной тяги. Высушенный таким образом хмель характеризуется содержанием влаги 10-12 %, после чего его выдерживают на специальном току, а затем окуривают серой (сульфитируют) (на 50 кг хмеля — 0,3-0,6 кг серы) и упаковывают в тюки по 100 кг или в прессованные баллоты по 100 или 150 кг. В результате прессования в баллоты достигается сокращение объема хмеля, однако при этом существует риск того, что под воздействием слишком сильного давления лупулиновые железы лопнут, и выделившиеся смолы и масла окислятся. Для длительного хранения баллоты с хмелем иногда помещают в банки из оцинкованных стальных листов.

2.1.4.4. Для сохранения ценных составных частей хмеля его следует хранить в прохладных, сухих и темных помещениях, причем желательнее, чтобы в помещениях кислород воздуха был заменен другим газом с инертными свойствами, в частности, азотом (по способу Вайнера). В присутствии кислорода, влаги, света и тепла хмель быстро теряет свои свойства. Процессы окисления при ферментативной активности и росте количества микроорганизмов изменяют характеристики

хмелевого масла, горькие хмелевые кислоты теряют свою горечь, а полифенолы преобразуются в высокомолекулярные продукты. В результате у хмеля появляется сырный запах.

Лучше всего хранить хмель в отдельных хорошо изолированных сухих помещениях с системой искусственного охлаждения при температуре около 0 °С. Равномерное охлаждение с помощью прокладки на потолке или боковых стенах охлаждающих труб более предпочтительно, чем охлаждение с помощью циркуляции воздуха (при этом необходимо обеспечить сток конденсата, образующегося при оттаивании труб охлаждения). Тюки и баллоты хмеля хранят на деревянных решетках. В подвалах можно хранить только герметично закрытые банки с баллотами прессованного хмеля, так как в таких подвалах, как правило, очень высокая влажность.

Гораздо лучше ценные качества хмеля сохраняются при хранении *хмелепродуктов* (см. раздел 2.1.4.7).

2.1.4.5. Оценку качества хмеля проводят с помощью ручной бонитировки и химического анализа. В ходе ручной бонитировки оценивают:

- *внешний вид* шишек хмеля (желательнее, чтобы шишка была закрытой, среднего размера с тонким стержнем) и *качество уборки хмеля* (стержни должны быть длиной 0,5-1 см);
- *цвет* шишек хмеля должен быть от желтоватого до зеленого в зависимости от сорта хмеля и степени его зрелости; покраснение, побурение, а также пороки и изменение цвета из-за поражения хмеля вредителями нежелательны, однако бурые пятна, появившиеся из-за сильных ударов ветра, являются лишь дефектом внешнего вида;

- *степень поражения вредителями* растительного и животного происхождения. К повреждениям растительного происхождения относятся истинная мучнистая роса, красная ржавчина или ложная мучнистая роса, а также серая гниль, которые проявляются в период вегетации хмеля в виде белого или черного налета; средствами борьбы с ними является опрыскивание эффективными фунгицидами (например, гашеной известью и препаратами меди). К этой же группе можно отнести увядание, поражающее порой большие площади и вызываемое грибами *Verticillium albo-atrum* и *Verticillium dahliae*. Вредителями животного происхождения являются хмелевой паутиный клещ, тля хмелевого листа и др.;
- *аромат*, являющийся характерным признаком хмеля. Различные сорта хмеля отличаются своим ароматом, который должен быть нежным, тонким, и вместе с тем явным и чистым;
- *зерна лупулина* должны быть явным образом заметны и иметь чистый желтый цвет; коричневатый цвет зерен лупулина свидетельствует о плохой сушке хмеля или его старении.

2.1.4.6. Химический анализ хмеля включает в себя определение влажности, степени сульфитации, выявление состава горьких веществ и расчет степени горечи. Наряду с методом анализа по Вольмеру, усовершенствованного в рамках ЕВС и МЕВАК, в настоящее время часто применяют ВЭЖХ-анализ α - и β -кислот и их гомологов. Реже определение хмелевых масел проводят газохроматографическими методами, а содержание полифенолов в отдельных случаях исследуют известными методами осаждения при ВЭЖХ-анализа.

При переработке хмеля в пивоварении оцениваются прежде всего ароматические, горькие, консервирующие и осаждающие белок компоненты, содержащиеся в лупулине, — хмелевые масла, горькие вещества хмеля и полифенолы; последние присутствуют также в верхушечных листьях и в стержнях. Кроме того, белок и пектин переходят из хмеля в сусло. Белок важен из-за содержащихся в нем аминокислот и высокомолекулярных фракций азота, оказывающих положительное действие на полноту вкуса и пеностойкость пива.

Наиболее ценными компонентами лупулина являются горькие вещества хмеля (13-23 %), которые растворяются в спирте, эфире и других смолорастворителях. Их можно разделить на горькие хмелевые смолы (α -кислота или гумулон, 4-12 %, β -кислота или лупулон, 4-6 %) и прочие смолы. В состав последних входят продукты окисления горьких хмелевых кислот; после растворения в гексане их подразделяют на мягкие и твердые смолы.

Пивоваренная ценность отдельных фракций различна и зависит от их растворимости в сусле и пиве, а также от степени горечи.

Важнейшими из этих горьких веществ являются α -кислоты из-за их высокой степени горечи. Мягкие смолы, образующиеся из нее в результате окисления и полимеризации, характеризуются меньшей степенью горечи (33 % от горечи гумулону). Самая низкая степень горечи (12 %) присуща твердым смолам, а у β -кислоты горечи нет совсем.

α -Кислоты растворяются в эфире и осаждаются солями свинца. Их растворимость в воде и сусле зависит от значения рН, однако в целом она незначительна. Более высокую растворимость им

придают лишь образующиеся при кипячении сусла продукты расщепления — изогумулоны. Эта растворимость сохраняется даже при значении pH пива. Гумулоны состоят из нескольких гомологов — когумулону, адгумулону, пре-гумулону и постгумулону, которые при кипячении преобразуются в соответствующие изомеры. Доля когумулону в хмеле обусловлена генетически и у отдельных сортов хмеля колеблется от 20 до 45 % (от содержания α -кислот). Самое низкое его содержание отмечается у континентальных ароматических сортов хмеля (20-25 %), а самое высокое — в горьком хмеле (например, у сорта *Brewers Gold*). Когумулону приписывают свойства быстрого окисления и изомеризации, которые, правда, не отражаются на степени горечи пива, а проявляются в более интенсивной и длительно сохраняющейся горечи. Адгумулону обладает повышенной реакционной способностью, которая вследствие его низкого содержания (8-12 %) большого значения не имеет. В процессе хранения гумулоны переходят сначала в мягкие, а затем в твердые смолы в результате окисления и полимеризации. Гумулону лучше растворяется при повышенном значении pH сусла. Высокое значение pH способствует переходу системы в состояние истинного раствора, тогда как при значении pH 5,2 преобладает коллоидный раствор, вызывающий мягкую горечь. Интенсивному проявлению горечи способствуют также ионизированные соли, преимущественно ионы Ca^{2+} , что присуще пиву, приготовленному из жесткой или гидрокарбонатной воды.

β -Кислота. При преобладающих в нормальных условиях значениях pH лупулону в сусле нерастворим, и поэтому, в процессе кипячения сусла с ним не происходит

никаких превращений и он удаляется вместе с хмелевой дробинкой или с осадком. β -Кислота имеет те же гомологи, что и гумулону. В процессе хранения лупулону хмеля окисляется с образованием мягких смол, растворимых в сусле и пиве и придающих ему приятную мягкую горечь.

Мягкие смолы (в свежем хмеле их содержание составляет 3-4 % от СВ) образуются от α - и β -кислот. За исключением первой фазы окисления гумулону — гумулиону и его гомологов, а также близкого к β -кислоте гулулону (содержащего наряду с гулулоном ко-, ад-, пре- и пост-гулулоны), они являются неспецифическими. По мере старения интенсивность их горечи уменьшается, а растворимость в пиве, напротив, увеличивается, так что потери этих веществ в результате брожения, снижения значения pH и охлаждения очень незначительны.

Твердые смолы (в свежем хмеле — 1,5-2 % от СВ) в гексане не растворяются. Так как они образуются из двух горьких кислот и их мягких смол, их природа чрезвычайно разнообразна. Они обладают небольшой горечью, которую, вероятно, можно приписать δ -смолам, и хорошей растворимостью в пиве.

В свежем ароматном хмеле содержание α -кислоты составляет около 35 %, β -компонентов (β -кислота + мягкие смолы) — около 55%, а содержание твердых смол составляет примерно 10 % от общего содержания смол. При старении хмеля, неизбежно происходящего через длительное время даже в условиях хорошего хранения в тюках и баллонах, а при неправильном хранении наступающего значительно быстрее, обе горькие смолы окисляются до мягких смол и затем превращаются в твердые. Тем не менее первоначально интенсивность горечи хмеля

практически не снижается, но затем резко падает при переходе через определенное пороговое значение. Это явление можно объяснить тем, что хотя в результате потери α -кислот и образуются менее горькие мягкие смолы, превращение первоначально нерастворимых, негорьких β -кислот в горькие гулулоны и мягкие смолы компенсирует потерю α -кислот; кроме того, эти продукты окисления в процессе пивоварения являются более стойкими и подвержены меньшим потерям, чем собственно горькие хмелевые кислоты.

Интенсивность горечи хмеля по Вольмеру представляют следующей формулой:

$$\text{Интенсивность горечи} = \frac{\text{Содержание } \alpha\text{-кислот} + \text{Содержание } \beta\text{-компонентов}}{9}$$

при этом к β -компонентам относят β -кислоты и все мягкие смолы. Эта формула, однако, справедлива только в том случае, если старение хмеля зашло не слишком глубоко, а доля твердых смол не превышает 15 % от общего содержания смол.

Так как у континентальных сортов хмеля β -фракция составляет 7-9 % и остается относительно постоянной, а частное β -компоненты : 9 колеблется от 0,8 до 1,0, было предложено использовать только α -кислоту для отображения величины горечи. При этом содержание α -кислоты свежего хмеля может служить основой для расчетов до тех пор, пока оно не уменьшится не более чем на 30 %. У хмеля, богатого горькими веществами, содержание α -кислоты составляет 9-12 % и достигает примерно 45% от общего содержания смол. Соответственно, содержание β -компонентов оказывается меньше и составляет немногим более 45%. Для свежего хмеля или соответствующих

экстрактов при определении степени горечи β -компонентами можно пренебречь, как и повышенным содержанием у многих сортов когумулона. При использовании старого сырья, а отчасти и экстракта хмеля формула Вольмера не работает (как и использование значения содержания α -кислоты). В этом случае для выявления содержания растворенных горьких веществ и расчета по ним дозы внесения хмеля или хмелепродуктов рекомендуется провести пробную варку.

Антисептическую активность хмеля относят к бактериостатическому действию горьких кислот и хмелевых смол, угнетающих развитие грамположительных микроорганизмов при снижении значения pH. Бактериостатическое действие хмель оказывает в том числе и на бактерии туберкулеза.

Хмелевые масла (содержание 0,3-1,5 % от СВ хмеля) обуславливают характерный аромат хмеля. В свежем хмеле эти летучие ароматические вещества на 65-75 % состоят из терпеновых углеводородов, а остальное — это окислившиеся производные, например, сложные эфиры, карбонилы и спирты. Различают монотерпены (например, мирцен, α -пинен, β -пинен), сесквитерпены (например, гумулен, β -кариофиллен), различные «постгумулены» (α - и β -селинен, селинадиен), типичные для сортов *Hershmcker* и *Puze*), и фарнезен, присущий «Жатецкой» группе сортов хмеля. Содержание мирцена в горьких сортах *Northern Brewer* и *Brewers Gold* составляет около 35 % от общего содержания хмелевых масел, а в ароматических сортах — лишь 15-25 %. К другим летучим веществам относят линалоол, 2-метил-3-бутен-2-ол, изобутиловый и изовалериановый альдегиды, а также сложные эфиры изобутилоизобутират и 2-метилбутилоизобутират.

Именно содержание монотерпенов и других летучих веществ характеризует поведение хмеля при его подготовке и хранении.

Аромат свежего хмеля в значительной степени определяется мирценом, но в хмеле после хранения на аромат оказывают влияние продукты расщепления α - и β -кислот из ацильных боковых цепочек гумулона. Хмелевые масла растворимы в сложном эфире, немного хуже — в спирте и в очень незначительной степени — в воде, обладая способностью улетучиваться с водяным паром. При кипячении сусла моно- и сесквитерпены частично превращаются в кислородо-содержащие производные с интенсивным ароматом (эпоксиды и спирты). Если различные неизменившиеся хмелевые масла благодаря их липофильным свойствам адсорбируются дрожжами, то спирты и эпоксиды с гидрофильными свойствами в следовых количествах переходят в пиво.

Для получения подчеркнуто сильного хмелевого аромата готового пива необходимо выполнить определенные мероприятия, например, добавить в хмелеотделитель хмель или ввести в бочку свежие хмелепродукты через шпунтовое отверстие. Хмелевые масла не в состоянии отчетливо проявляться в готовом пиве даже при использовании свежего хмеля. Гумулен, β -карнофиллен и фарнезен, встречающийся в хмеле «Жатецкой» группы сортов, придают пиву приятные запах и вкус. Мирцен же по сравнению с ними более летуч и легче окисляется. Он придает пиву резкий острый запах и наряду с другими летучими маслами (прежде всего окислившимися) несет ответственность за недостаточную стабильность вкуса некоторых сортов пива. Окислившиеся хмелевые масла также придают

пиву из старого, долго хранившегося хмеля стойкий горьковатый вкус. Улучшение свойств богатого горькими веществами хмеля, содержащего мирцен, добиваются путем деаэрации по методу Вайнера (*Weiner*).

Дубильные вещества хмеля (полифенолы) содержатся в лупулине, в стержне и, в основном, в верхушечных и кроющих листьях хмеля. Их общее содержание колеблется от 4 до 8 % по СВ. 80-85 % полифенолов свежего хмеля — это антоцианогены. Их индекс полимеризации составляет 1,15-1,20, и этим можно объяснить более высокую реакционную способность полифенолов хмеля по сравнению с дубильными веществами солода. Она определяется также содержанием таннидов (75-80 % от общего содержания полифенолов). При хранении хмеля из полифенолов образуются полимеризованные соединения, обладающие темным цветом, вяжущим вкусом и пониженной дубильной способностью. В сусле их содержание выше, чем в свежем хмеле. Менее окисленное сусло приобретает более темный оттенок вследствие растворения горьких веществ хмеля и дубильных веществ и, наоборот, более окисленное сусло становится светлее благодаря дубильным веществам хмеля и более интенсивному осаждению белков. Таким образом, гидрокарбонаты пивоваренной воды влияют и на вкус, и на цвет сусла.

Растворимые азотсодержащие вещества хмеля при кипячении сусла частично переходят в него и тем самым компенсируют потери, вызванные осаждающим действием дубильных веществ хмеля, обуславливая полноту вкуса пива.

К прочим хмелевым веществам относится целлюлоза (10-17 %), пектин (10-14 %), небольшое количество гексоз,

и ди-, три- и олигосахариды, которые с технологической точки зрения не играют заметной роли. Важное значение имеют липиды и высокомолекулярные жирные кислоты, вносимые в сусло с хмелем. Из минеральных веществ основное количество составляют калий, кальций, фосфаты и силикаты. Для пива важна доля нитратов, достигающая иногда 0,5-1,2 % от общего содержания минеральных веществ. При норме внесения хмеля 200 г/г, нитратов попадает в сусло (и пиво) от 10 до 25 мг/л. К минеральным веществам относятся также микроэлементы, попадающие в хмель в результате мер по защите растений.

Классификацию различных сортов хмеля проводят по содержанию α -кислоты (% от общего содержания смол), а также по отношению « α -кислота : β -компоненты», которое у континентальных сортов ароматического хмеля составляет примерно 1 : 1,6, а у горьких сортов хмеля (например, у *Brewers Gold*, — 1 : 0,8-1 (у ароматического сорта *Perle* это соотношение составляет примерно 1 : 1-1,2). Методом ВЭЖХ можно непосредственно определять содержание α - и β -кислот, соотношение которых у ароматических сортов хмеля составляет 0,7-1, а у горьких сортов — 0,3-0,4. Кроме того, сортовым признаком хмеля является доля когумулона. К другим показателям можно отнести отношение монотерпенов к сесквитерпенам (у ароматических сортов хмеля — 1:2, у горьких сортов — около 1:1). Кроме того, четкое различие сортов достигается на основе анализа содержания отдельных хмелевых масел, например, фарнезена (у сортов жатецкого хмеля), α - и β -селина, селинадиена, ранее называвшихся постгумуленами (у сортов *Hersbrucker Spaethopfen* и *Pure*).

2.1.4.7. В настоящее время все шире применяются *хмелепродукты*, которые поступают в виде гранулированного хмеля или экстракта хмеля.

Нормальный гранулированный хмель в зависимости от степени сушки характеризуется содержанием влаги 3-8 % и лишь немного отличающимся от натурального хмеля общим содержанием смол и α -кислот. В результате помола хмеля-сырца получают порошок, состоящий из частиц разного размера, который фасуют под вакуумом и продают упакованным в пластиковые мешки с регулируемой газовой средой или в жестяных банках. Такой гранулированный хмелепродукт по сравнению с не измельченным натуральным хмелем экономит 10-15% α -кислот, а спрессованная упаковка существенно уменьшает объем продукта.

Гранулы-концентрат сначала получают путем сушки, а затем подвергают глубокому замораживанию до температуры от -20° до -30° C и измельчают, в результате чего гранулы обогащаются лупулином. Такая обработка при обогащении 1 : 2 (гранулы типа 45) наполовину снижает содержание полифенолов, нитратов и контаминантов хмеля.

Гранулы в упаковке с PGC (в среде азота или CO₂) характеризуются общим содержанием смол до 30 % и значениями содержания α -кислот до 10 % (у горьких сортов хмеля — до 14 %). По сравнению с натуральным хмелем экономия α -кислоты у них составляет примерно 15 % и снижается объем продукта (до 60 % по сравнению с хмелем-сырцом).

Давление при гранулировании порошка хмеля достигает нескольких сотен атмосфер, что при возникающем трении вызывает повышение температуры порошка. Благодаря применению инертных газов, охлаждения матриц и подбора

формы гранул (при необходимости) можно минимизировать потери α -кислот и других компонентов. Преимущество гранул состоит в простоте их применения в варочном отделении с возможностью автоматизации их дозирования.

Экстракты хмеля первоначально получали с помощью органических растворителей смол — метанола, гексана и метилена хлорида. В настоящее время в Германии их получают исключительно с помощью этанола и диоксида углерода.

Хмель измельчают, горькие вещества и хмелевые масла растворяют в 90 %-ном этаноле и извлекают в многоступенчатом противоточном экстракторе. Все ценные составляющие (горькие вещества, хмелевые масла и водорастворимые компоненты хмеля) содержатся в спиртовом растворе («мицелле»), который должен быть сгущен в спиртовой экстракт. Это осуществляют в многоступенчатой вакуумной испарительной установке. При этом удаляются мирцен и другие летучие ароматические соединения. На следующей ступени обработки происходит дальнейшее снижение содержания спирта и разделение на экстракт смол и экстракт, растворенный в горячей воде. В результате термической нагрузки содержание изо- α -кислот в спиртовом экстракте составляет 2-3%. Так как при анализе общего содержания горьких веществ, например, с помощью кондуктометрического метода определения α -кислоты, оно определяется лишь наполовину, то обычную кондуктометрическую величину (КВ) необходимо скорректировать на половину содержания изо- α -кислоты, определенного методом ВЭЖХ. Этот показатель, обозначаемый как «величина кондуктометрической горечи» (ВКГ) рассчитывается по формуле:

$$\text{ВКГ} = \text{КВ} + \frac{\text{Содержание изо-}\alpha\text{-кислоты}}{2}$$

Данная формула используется на практике при дозировании спиртового экстракта.

Общее содержание смол в экстрактах составляет 80-85 %; в зависимости от вида хмеля (ароматического или горького) содержание α -кислот составляет от 28 до 45 %, доля твердых смол — 10-12 %, а содержание α -кислот — 2,5-3 %.

По сравнению с исходным хмелем-сырцом следует отметить полное удаление нитратов, снижение содержания тяжелых металлов (на 90-95%), и отделение меди примерно 50%. Полярные активные соединения ядохимикатов удаляются полностью, а неполярные переходят в экстракт. Экстракты хмеля очень стойки и можно дозировать автоматически.

Экстракция хмеля может производиться и двуокисью углерода — жидким и сверхкритическим CO_2 (под давлением 150-300 бар и температуре 32-100 °C).

Экстракцию хмеля жидким CO_2 производят в экстракторе при давлении 60-70 бар, где происходит обогащение жидкого CO_2 горькими веществами и ароматическими компонентами хмеля. Во второй емкости CO_2 испаряется, и остается нелетучий хмелевой экстракт. Продукт при этом получается очень чистым с малым содержанием твердых смол (общее содержание смол в полученном экстракте составляет 90 %; в зависимости от сорта хмеля в нем содержится 30-50 % α -кислот и всего 1-2 % твердых смол). Путем изменения условий экстрагирования можно добиться разделения на отдельные фракции — например, на хмелевые масла, β - и α -кислоты. Такой продукт, богатый хмелевыми маслами, можно использовать при кипячении сула с хмелем в качестве последней порции хмеля.

У традиционных экстрактов из хмелевой дробины, оставшейся после отделения

мисцеллы, путем экстракции горячей водой растворяли оставшиеся компоненты хмеля (дубильные вещества, белки, углеводы и минеральные вещества) и путем сгущения до консистенции сиропа получали так называемый «водный экстракт» или «экстракт дубильных веществ». При добавлении водного экстракта к фракции смол получался так называемый «стандартный экстракт» с общим содержанием смол 35-50 %.

Такие *стандартные экстракты* имели целый ряд недостатков: в емкости для хранения, например, они расслаивались, что делало невозможным автоматическое дозирование, а водная фракция экстракта способствовала старению самого экстракта. Однако главным является то, что они содержали вещества, загрязняющие окружающую среду, в том числе и нитраты.

В целях улучшения распределения экстракта в сусле при кипячении и для ускорения его изомеризации начали производить «порошкообразный экстракт хмеля», под которым понимают экстракт хмеля, нанесенный на силикагель. Тем не менее, несмотря на некоторое повышение степени изомеризации, этот порошкообразный хмелепродукт не нашел широкого применения из-за трудностей с его дозированием и ограниченной пригодностью к хранению. Он может представлять интерес в будущем в случае несколько измененного его использования для ароматизации сула.

Еще одним типом порошкообразного хмелепродукта является смесь экстракта и порошка. Экономия α -кислоты в данном случае сопоставима с нормальными хмелевыми экстрактами.

Существуют также гранулы хмеля на бентоните (средстве для стабилизации пива). Благодаря увеличению пло-

щади поверхности, а также за счет температур гранулирования, этот хмелепродукт повышает выход горьких веществ с увеличением эффективности их действия, особенно при позднем внесении хмеля.

Аналогичную цель преследуют также при получении так называемых «стабилизированных гранул», в которых подмешивание 3 % оксида магния приводит к преводу горьких веществ в их соли магния, что приводит к улучшению степени изомеризации на 10-15% (по сравнению с нормальными гранулами).

Изомеризованные экстракты хмеля получают нагреванием стабилизированных гранул в течение 40 мин при температуре 100 °С. Они обеспечивают примерно 70 %-ное использование α -кислот даже при позднем введении хмеля (в Германии применение изомеризированных экстрактов запрещено) и поступают в одной или двух фракциях. Фракция изо- α -кислоты может иметь вид эмульсии, свободной изо- α -кислоты, суспензии Mg-изо- α -кислоты, водорастворимого порошка Mg-Na-изо- α -кислоты или K-изо- α -кислоты. Кроме того, известен раствор солей щелочных металлов и редуцированных изо- α -кислот. Вторую фракцию можно использовать в форме «основного экстракта», содержащего β -кислоты, гулопоны, хмелевые масла, неспецифические смолы и полифенолы. Изомеризованные гранулированные экстракты хмеля занимают мало места и стабильны при хранении, однако в условиях экстремальных температур (например, в тропических условиях) их эмульсии могут претерпевать изменения. Введение изомеризованных экстрактов по экономическим соображениям проводится после главного брожения (в основном перед или после фильтрования пива).

Всем этим хмелепродуктам приписывают повышение стабильности при хранении, однако она может быть обеспечена только при отсутствии поврежденных упаковки и полном сохранении газовой среды в ней. В целях безопасности температура хранения не должна превышать 4-5 °С. Если экстракты смол даже при длительном хранении при положительных температурах не претерпевают каких-либо изменений, то при нарушении указанного температурного режима добавление небольшого количества водного экстракта вызывает заметное старение (процесс старения включает не только изменение горьких веществ хмеля, окисление хмелевых масел, но и полимеризацию полифенолов).

2.2. Дробление солода

Растворению пивоваренного сырья предшествует измельчение солода — дробление. Несмотря на то что это чисто механический процесс, он оказывает большое влияние на протекание биохимических превращений в процессе затирания, на состав сусла и выход готового пива. Дробление солода — операция непростая, поскольку для цветочных оболочек и эндосперма требуется различная предварительная обработка.

Оболочки следует измельчать максимально грубо. Хотя их основной компонент (целлюлоза) нерастворим в воде, в них содержится целый ряд дубильных, горьких и красящих веществ, чрезмерное выщелачивание которых может отрицательно сказаться на вкусе пива. Кроме того, при фильтровании сусла в фильтрчане оболочки образуют фильтрующий слой, и их слишком тонкое измельчение нецелесообразно. Качество продукта грубого дробления (крупки) зависит от

состояния оболочек. Благодаря своей эластичности оболочки измельчаются с трудом, что требует особых способов дробления.

Напротив, для *эндосперма* необходимо тонкое измельчение, поскольку именно в нем содержатся основные экстрактивные вещества, но он измельчается неравномерно, так как разные части имеют различную твердость вследствие неравномерного биологического растворения. Именно поэтому продукты измельчения эндосперма различаются по размерам, экстрактивности и растворимости.

Части эндосперма, примыкающие к острию зерна, растворены меньше, они жесткие и твердые, так что из них получаются только грубые продукты помола (крупная крупка). Нижние части зерна растворены лучше, они более рыхлые и поэтому измельчаются до мелкой крупки и муки. Крупная крупка с трудом растворяется при затирании и хуже переходит в экстракт, чем продукты помола тонкой фракции, и для нее требуются более длительные и интенсивные способы затирания, чем для продуктов тонкого помола. Задача дробления солода состоит в том, чтобы получить небольшую долю продукта в форме крупной крупки и обеспечить большой выход мелкой крупки и муки.

Твердый, плохо растворенный солод особенно нуждается в сильном измельчении, так как в противном случае неизбежно попадание продукта дробления в отходы. Лишь в случае дополнительного тонкого измельчения этих грубых частиц они полностью переходят в экстракт, и поэтому химический состав сусла определяется крупностью помола. Тонко измельченный эндосперм при затирании быстрее осаживается, образуется больше сахара и повышается конечная степень

сбраживания. Сходные процессы протекают и при расщеплении азотистых и других веществ. Продукт дробления с высоким содержанием крупной крупки, напротив, отличается не только пониженным выходом, но и меньшей степенью сбраживаемости, в связи с чем недостаточно растворенный солод необходимо подвергать очень тщательному механическому измельчению. Чем хуже качество солода, тем важнее результат дробления. Наряду с кипячением затора оно является важнейшим физическим способом усиления действия ферментов на эндосперм. Из вышесказанного следует, что качество дробления солода определяет состав сусла.

Объем измельченного солода определяет объем дробины. С другой стороны, объем помола зависит от состава измельчаемого солода, так что этот состав влияет также на толщину фильтрационного осадка из дробины и высоту ее слоя. Примерное представление о взаимосвязи объема измельчаемого материала и объема дробины может дать нижеприведенная таблица.

С увеличением тонкости помола уменьшается объем, занимаемый дробленым материалом, а с уменьшением последнего уменьшается и объем дробины. Чем тоньше помол, тем плотнее осадок из дробины и тем труднее фильтруется сусло, из-за чего фильтрование идет дольше. Чем грубее помол, тем более рыхлым становится слой дробины и тем

быстрее приходит процесс фильтрования. Особое значение вопрос объема приобретает при фильтровании с помощью фильтр-пресса (майш-филтра), где для дробины предусмотрено определенное пространство, которое должно быть аккуратно заполнено. С этих позиций измельченный солод является основой для расчета не только объема дробины, но и ее свойств, что влияет на промывание дробины и ее разрыхление при фильтровании в фильтр-чане. От тонкости помола зависит площадь поверхности частиц дробины, с увеличением которой возрастает набухаемость и абсорбция частиц, в результате чего дробина после фильтрования первого сусла удерживает больше экстракта.

В заключение можно сказать, что дробление солода играет решающую роль в качестве получаемого пива. Чем дольше продолжается фильтрование через несбалансированный состав дробленого продукта, чем чаще приходится промывать дробину для извлечения задержанного в ней экстракта, тем больше балластных компонентов оболочек зерна попадает в сусло, что может негативно отразиться на цвете пива.

2.2.1. Оценка помола

Помол оценивают эмпирически или количественно путем ситового анализа. *Эмпирически* визуально контролируют

Таблица 2.2. Характеристики помола солода

Тип помола	Процентное содержание	Объем продукта	Объем дробины,
	муки с частицами менее 500 мкм	помола, мл	мл
Грубый помол	25-30	280	200
Тонкий помол	50-60	210	150
Мука сверхтонкого помола	85-90	200	100

состояние мякинных оболочек, степень их измельчения и свойства крупки, а также количество муки. *Количественная оценка* возможна только с помощью набора сит. Для сит, рекомендованных в настоящее время МЕВАК, за основу взят набор пфунгштадских сит (планзихтер), однако за исключением сита № 5 имеются небольшие отличия в размере ситовых отверстий. В табл. 2.3 приведены примеры помола на наборе пфунгштадских сит.

С учетом того что содержание оболочек солода составляет около 10 %, первое сито этого отсева задерживает также и грубую крупку, что несколько искажает картину. Для определения «содержания муки» в лабораторном помоле не дифференцируются фракции «мука», «тонкая крупка III» и «тонкая крупка II», то есть суммируются частицы менее 0,5 мм. В помоле для майш-фильтра учтены значения как для старых фильтров, так и для заторных фильтров нового поколения. В зависимости от степени износа молотков и сит дро-

билек результаты сортирования могут изменяться.

При помоле для фильтр-чана оболочка должны по возможности сохраняться в целях обеспечения быстрого и беспрепятственного фильтрования, однако для получения желаемого состава и высокого выхода их следует хорошо измельчить. Для оценки свойств оболочек определяют объем 100 г оболочек, который должен быть более 700 см³.

Встряхивание набора сит должно осуществляться механическим путем с частотой вращения двигателя 300 об/мин. и продолжительностью встряхивания 5 мин. Для исследования состава помола необходимо безупречно провести отбор средних проб массой 100-200 г, которые в ходе дробления отбирают несколько раз. На отдельных проходах дробилки целесообразно расположить пробоотборники, причем каждую пробу следует просеивать по непрерывной технологии, так как пробы, отобранные позже из бункера, могут оказаться не релевантными.

Таблица 2.3. Примеры помола на базе пфунгштадских сит

Сито №9	Набор сит, стандарт DIN 4188, по МЕВАК		Пфунгштадский рассев		Помол для фильтр-чана	Помол после пфунгштадского отсева		
	Тип помола	Просвет ситового отверстия, мм	Толщина проволоки, мм	Просвет ситового отверстия, мм		Толщина проволоки, мм	Помол для майш-фильтра	Обычный Пудра'
1	Оболочки	1,250	0,80	1,270	0,31	18	11	0,6
2	Крупная крупка	1,000	0,63	1,010	0,26	8	4	0,9
3	Тонкая крупка I	0,500	0,315	0,547	0,15	35	16	7,0
4	Тонкая крупка II	0,250	0,160	0,253	0,07	21	43	14,3
5	Тонкая крупка III	0,125	0,080	0,152	0,04	7	10	12,0
Дно ситового набора	Мука	-				11	16	65,2

* Помол молотковой дробилки в зависимости от ее состояния.

2.2.2. Солодовые дробилки

Дробление солода осуществляется с помощью гладких или рифленых валцов из чугуна с высокой поверхностной твердостью, которые вращаются навстречу друг другу с одинаковой или с различной скоростью. Процесс дробления проводится в одну или две стадии, причем на повторное измельчение иногда направляют только отдельные части помола. Число валцов у солодовых дробилок варьирует от 2 до 6. Подача материала осуществляется питающими валцами, снабженными регулировочным устройством.

2.2.2.1. Двухвальцовая дробилка характеризуется самой простой конструкцией. При условии хорошего и однородного растворения солода, равномерной несильной подачи материала (не более 15-20 кг/см ширины вальца в час, а также небольшой частоты вращения (160—180 об/мин) валцов диаметром 250 мм и величине рабочего зазора между вальцами 0,7 мм можно получить помол следующего состава:

Таблица 2.4. Состав помола на двухвальцовой дробилке

Фракция	1	2	3	4	5	6
	22	16	30	12	6	14

Объем оболочек некондиционированного солода составляет 400-500 мл/100 г.

При повышенных требованиях к производительности или в случае плохо растворенного солода требуется более мощная дробилка, и, естественно, напрашивается решение повторить процесс дробления, установив две пары валцов друг над другом.

2.2.2.2. Четырехвальцовые дробилки нашли широкое применение. Процесс дроб-

ления в них немного видоизменен в том, что на верхней паре валцов происходит предварительное дробление солода (зерно только раздавливается с частичным сохранением мучнистого тела в оболочке). Продукт после предварительного дробления характеризуется относительно грубым помолом. Условиями хорошего предварительного дробления является низкая скорость вращения верхней пары валцов (около 160-180 об/мин) и равномерная небольшая загрузка дробилки (около 20 кг/см ширины вальца в час).

Для обеспечения дальнейшего дробления материала рабочий зазор у второй нижней пары валцов должна быть меньше, чем у верхней пары. Поскольку объем материала при переходе от первой пары валцов ко второй увеличивается примерно на 50%, скорость вращения второй пары валцов должны быть больше (240-260 об/мин). На более производительных четырехвальцовых дробилках установлены крестообразные молотковые валцы, вращающиеся в направлении наружных стенок и отбрасывающие предварительно раздробленный солод на стенку камеры с прорезями. Это позволяет отделить муку и, возможно, тонкую крупку до второй пары валцов, но эти прорези очень быстро забиваются. Скорость вращения дробилок большей производительности составляет у верхних валцов 200, а у нижних — 300 об/мин. Необходимо точно отрегулировать валцы предварительного дробления: если помол получается слишком грубым, то нижняя пара валцов испытывает сильную перегрузку, а если у продукта предварительного дробления помол слишком тонок, то выход муки будет очень высоким. Практически регулировка зазора на двух парах валцов составляет 1,6 и, соответственно, 0,7 мм. Сортирование

помола на пфунгштадском расसेве дает следующие результаты:

Таблица 2.5. Состав помола на четырех-вальцовой дробилке

Фракция	1	2	3	4	5	6
Продукт предварительного дробления, %	62	10	10	6	4	8
Дробленый продукт, %	22	13	32	15	5	13

С технологической точки зрения целесообразно не дробить дважды весь помол, а подвергать повторному дроблению лишь более твердые его части, облегчая их перевод в растворимое состояние при затирании. Поэтому после предварительного дробления проводят разделение помола. Для этого в дробилке подвешены вибросита, которые для просеивания продукта предварительного дробления интенсивно встряхиваются. Следует избегать избыточной их загрузки, излишнего или слишком незначительного наклона и слабого встряхивания. Для разгрузки поверхности сита подпружинивают и оборудуют резиновыми шарами, встряхивающим с сит мучную пыль.

В четырехвальцовых дробилках возможны различные варианты установки сит. В одном случае отсеивается тонкая крупка и мука, а оболочки и грубая крупка подаются для дальнейшего измельчения на вторую пару вальцов. Производительность таких дробилок составляет около 25 кг/см ширины вальца в час. Во избежание разрушения оболочек пара вальцов предварительного дробления вращается со скоростью 200-220 об/мин.

Во втором варианте размещения сит с одной стороны происходит отсеивание тонкой крупки и муки, а с другой — удаление оболочек, так что на второй паре

вальцов дополнительно измельчается только грубая крупка. Между вальцами предварительного дробления необходимо тщательно отрегулировать зазор, так как оболочки должны освободиться от крупной крупки только за этот проход в результате встряхивающего движения набора сит. Вторая пара вальцов, предназначенная для дополнительного измельчения, может иметь более высокую или различную скорость вращения (например, 330/165 об/мин). Производительность такой дробилки соответствует производительности пары вальцов предварительного дробления и составляет около 20 кг/см ширины вальца.

Наилучшим образом к переработке солода различного качества и требованиям к помолу адаптированы трехпроходные дробилки. Если производительность не очень велика, то этим задачам отвечает четырехвальцовая дробилка особой конструкции; но для обеспечения большей производительности применяют только пяти- и шестивальцовые дробилки, в которых предусмотрено три прохода и два набора сит, смонтированных отдельно.

2.2.2.3. В классической шестивальцовой дробилке материал после предварительного дробления разделяется на первом наборе сит на три фракции (оболочки, крупку и муку). Мука, не требующая дальнейшего измельчения, сразу же отводится из дробилки и собирается как пудра. Оболочки остаются на верхнем сите и поступают на вторую пару вальцов, где они не столько дополнительно измельчаются, сколько отделяются от прилипших к ним частичек эндосперма и после второго вибросита отводятся из дробилки. Крупная крупка после первой и второй пары вальцов подводится к третьей паре для более интенсивного размола.

Производительность дробилок старой конструкции составляет 24 кг/ч на 1 см ширины валцов, а более новой конструкции — до 80 кг/ч.

У современных шестивальцовых дробилок зачастую отсутствует сито между первым и вторым проходом. На дробилках небольшой производительности весь помол попадает на одно сито большой площади. При этом оболочки должны быть размолоты до такого состояния, чтобы их отделение от прилипшей к ним крупки происходило только за счет встряхивающего и сепарирующего движения сит так, чтобы продукт помола можно было сразу отводить из дробилки. Крупка дополнительно размалывается на паре предназначенных для этого валцов. На крупных дробилках помол первых двух проходов подают на симметрично расположенные наборы сит. Состав помола, полученного после отдельных проходов, приведен в табл. 2.6.

2.2.2.4. Пятивальцовые дробилки работают по сходному принципу, только первый и второй проход в данном случае объединены таким образом, что второй валец служит как для предварительного дробления, так и для размола оболочек.

С помощью шести- и пятивальцовых дробилок можно производить дробление различного солода для всех способов запаривания.

2.2.2.5. Дополнительные устройства. Существенного улучшения действия многовальцовых дробилок удается добиться путем *кондиционирования* солода за счет его увлажнения. Кондиционирование осуществляется в шнеке для кондиционирования, устанавливаемом после весов перед дробилкой. Влажность солода в таком шнеке путем обработки паром низкого давления (избыточное давление около 0,5 бар) возрастает на 0,5 %, причем влажность оболочек увеличивается на 1,2%. Температура солода в процессе кондиционирования не должна превышать 40 °С. Вместо пара в настоящее время увлажнение осуществляют почти исключительно водой температурой 30-70 °С с избыточным давлением 2 бара (через форсунки специальной конструкции), так как образующийся от пара конденсат требует особых мер предосторожности. В зависимости от температуры воды и продолжительности ее контакта с материалом, зависящей от длины шнека, водопоглощение составляет 1-2 %. В результате оболочки становятся настолько жесткими, что даже при очень сильном дроблении в двух первых парах валцов они не раздавливаются, и из них образуется очень мало муки. Содержание оболочек в помоле возрастает, объем оболочек увеличивается примерно на 20 % и соотношение крупной и тонкой крупки смещается

Таблица 2.6. Состав помола на шестивальцовой дробилке после отдельных проходов

Фракция	1 оболочки	2 (грубая крупка I)	3 (тонкая крупка II)	4 (тонкая крупка III)	5 (мука)	6 (пудра)
Вальцы для предварительного дробления, %	60	9	12	8	1	10
Вальцы для измельчения оболочек, %	55	11	16	8	1	9
Вальцы для измельчения крупки, %	0	10	46	22	5	17
Помол в целом, %	18	8	38	17	5	14

в сторону последней, хотя содержание муки не возрастает. Этот метод имеет преимущества, выражающиеся в скорости фильтрования, выходе продукта, цвете и вкусе пива, так как менее раздробленные оболочки дают меньшее содержание побочных и красящих веществ. Кондиционирование солода может положительно сказаться и на помоле для майш-филтра.

В дробилках с несколькими проходками предусмотрена возможность отведения размолотых оболочек из дробилки в отдельный бункер.

Отделение оболочек позволяет позднее добавлять их в процессе затирания. Они меньше выщелачиваются, в результате получается пиво с меньшим содержанием дубильных веществ, более светлое и с более мягким вкусом. При этом следует следить, чтобы оболочки были хорошо размолоты, так как в противном случае горячее охмеленное сусло может характеризоваться неполной йодной реакцией и привести к низкой конечной степени сбраживания, ухудшению выхода экстракта и появлению у пива неприятного привкуса.

2.2.2.6. Производительность дробилки для солода выбирают с таким расчетом, чтобы солод для одной варки можно было получить за полтора-два часа. Она определяется размером вальцов (от 30 до 150 см), числом оборотов, рифлением

и, возможно, отношением их окружных скоростей. При эксплуатации и контроле работы дробилок следует учитывать следующие факторы.

При отделении оболочек ради лучшего дробления и просеивания оболочек *производительность дробилки* следует уменьшить примерно на 20 %.

Для обеспечения *виброустойчивости* дробилка должна быть установлена строго горизонтально.

Подача на вальцы должна быть небольшой и осуществляться в виде тонкого равномерного слоя по всей ширине вальцов.

Вальцы должны быть *установлены параллельно*, что проверяется с помощью щупа, бумажной или свинцовой палочки.

Регулировка зазора между вальцами выполняется по результатам помола. Вальцы предварительного дробления следует отрегулировать так, чтобы все зерна были раздавлены и эндосперм мог отделиться от оболочек. Вальцы для измельчения крупки (нижняя пара) должны давать продукт средней крупности, а вальцы для оболочек должны размалывать всю крупку, приставшую к оболочкам. Основными показателями качества помола является степень выхода экстракта и продолжительность фильтрования. Примерная базовая регулировка зазора вальцов шестивальцовой дробилки (мм) в различных условиях приведена в табл. 2.7, однако для отделения оболочек при выполнении

Таблица 2.7. Базовая регулировка зазора вальцов шестивальцовой дробилки

	Помол для сухой	фильтр-чана кондиционированный	Дробление оболочек	Дробление для майш-филтра
Зазор вальцов для предварительного дробления, мм	1,6	1,4	1,1	0,9
Зазор вальцов для дробления оболочек, мм	0,8	0,6	0,4	0,4
Зазор вальцы для крупки, мм	0,4	0,4	0,4	0,2

регулировки помола для фильтр-чана зазор должен быть немного меньше.

Следует контролировать *число оборотов вальцов*, так как неправильно подобранные значения окружной скорости могут стать причиной неудачного помола. С повышением производительности дробилок увеличилась и частота вращения вальцов, и отношение их окружных скоростей. Приведенные в табл. 2.8 значения являются ориентировочными и зависят от типа дробилки и фирмы-изготовителя. Число колебаний вибросита — около 450/мин.

Диаметр и рифление вальцов зависят от ступени и типа помола. Вальцы для предварительного дробления и вальцы для оболочек имеют диаметр 200-250 мм; у дробилок для грубого помола, предназначенного для фильтр-чана, они гладкие, а вальцы для тонкой крупки — рифленные, диаметром 200-220 мм. Вальцы высокопроизводительных дробилок для грубого и тонкого помола только рифленные, рифлы у них в зависимости от требуемой степени дробления расположены «острие против острия» или «спинка против острия». Все пары вальцов для тонкого помола расположены «острие против острия», а у двух первых пар вальцов для грубого помола рифление «спинка против спинки». Количество рифлей у современных высокопроизводительных дробилок составляет: для

вальцов предварительного дробления — 275 на длину окружности, у вальцов для оболочек и вальцов для крупки — по 700.

Сита следует поддерживать в безупречном состоянии, их нельзя переставлять, особенно при дроблении влажного или кондиционированного солода.

Выпуск из дробилки следует располагать так, чтобы избежать заторов дробленого солода, нарушающих работу дробилки.

Все дробилки для солода оснащены автоматическими тарированными весами со счетчиком для определения количества продукта.

Удельное потребление энергии у современных шестивальцовых дробилок составляет при помоле для фильтр-чана 1,4 кВт · ч/т, причем 0,25 кВт · ч/т приходится на холостой ход. Дробилки более старых конструкций, а также дробилки при помоле для майш-фильтра потребляют больше энергии (до 2,0 кВт · ч/т).

Целесообразно очищать подлежащий дроблению солод на *солодополировочной машине* (см. раздел 1.6.7.3). Перед ней устанавливают магнитный сепаратор для удаления металлических примесей. Для защиты рифленных вальцов целесообразно также использовать камеотборник (см. раздел 1.2.3.4). Дробленый солод собирают в бункере из стальных листов с коническим выпуском. 1 т дроблёного

Таблица 2.8. Число оборотов вальцов в зависимости от производительности дробилки

Тип помола	Помол для фильтр-чана			Помол для майш-фильтра
	25	45	80	35
Производительность, м ³ /ч				
Вальцы предварительного помола, об/мин	200/190	260/225	450/370	325/255
Вальцы для оболочек, об/мин	200/220	355/365	550/450	255/325
Вальцы для крупки, об/мин	165/330	455/198	450/335	455/198

солода по объему составляет примерно 3 м³. Эта величина зависит от тонкости помола и его особенностей. Объем бункера для дробленого солода рассчитывают, исходя из значений насыпной массы всего помола в целом или, соответственно, оболочек и крупки. Ориентировочные значения для расчетов указаны в табл. 2.9.

Таблица 2.9. Данные для расчета объема бункера для дробленого солода

Насыпная масса, кг/м ³	Общий помол	Мука и крупка	Оболочки
Грубый помол, сухой	380	530	200
Грубый помол, кондиционированный	310	560	120
Тонкий помол, сухой	430	580	110

Для правильного подбора габаритов бункера для дробленого солода и беспрепятственного выпуска помола следует учитывать образующийся угол откоса (для дробленого солода — 45°, для оболочек — 55°), а также угол выпуска, равный 65°. Для прямоугольных бункеров требуется один распределительный и один разгрузочный шнек.

Весь процесс дробления, включая операции, выполняемые на дополнительном и транспортном оборудовании, а также работу весов можно полностью автоматизировать благодаря ступенчатой схеме подключения агрегатов.

2.2.2.7. При мокром дроблении применяется совершенно иной принцип. Здесь солод непосредственно перед дроблением на 10-30 мин замачивают в воде температурой 12-50 °С. Для получения солода с влажностью 30 % при более высоких температурах замачивания требуется соответственно более короткая продолжительность замачивания. Вода после замачивания спускается в канализацию или

используется при затирании, причем потери экстракта составляют при этом около 3,5 кг/т солода. Оболочки под действием воды для замачивания становятся более эластичными, однако слишком сильное или продолжительное замачивание затрудняют их дробление и при известных условиях кончики зерна полностью не размалываются. Для уменьшения различий в качестве помола в его начале и конце рекомендуется проводить замачивание при пониженных температурах.

Желательно подводить воду к солоду непрерывно с помощью установленных в емкости для замачивания форсунок в зависимости от температуры воды (50-70 °С) и требуемой продолжительности замачивания. Для получения хорошего помола рекомендуемая влажность должна составлять 18-22 %.

Для измельчения замоченного солода достаточно двухвальцовых дробилок. Вальцы диаметром 400 мм вращаются с одинаковой скоростью (400 об/мин). Использование разных скоростей валцов или коническое их исполнение не дают заметных преимуществ. Вальцы изготавливают из хромоникелевой стали со специальным рифлением для обеспечения надежного втягивания солода в рабочий зазор валцов (0,35-0,40 мм).

Так как продолжительность мокрого дробления соответствует продолжительности замачивания и не должно превышать 30 мин, необходимо использовать высокопроизводительные дробилки. При потребности до 20 т солода в час достаточно одной двухвальцовой дробилки, при большей потребности рекомендуется либо использовать две дробилки параллельно, либо одну четырехвальцовую. Замачивание можно выполнять при любых температурах, при этом вода для

главного налива проходит через нижнюю часть дробилки и захватывает дробленый солод. В случае установки дробилки рядом с замочным чаном требуется насос подачи материала, управляемый от датчика уровня так, чтобы полностью исключался подсос воздуха.

Продолжительность мокрого дробления составляет: замачивание — 10-30 мин, выпуск замочной воды — 5-10 мин, дробление — 25-35 мин и промывка — 5-10 мин. Таким образом общая продолжительность составляет 60-70 мин.

Энергопотребление при дроблении составляет $2,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ засыпи (при использовании насоса — $2,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$). Эффективность дробилки для солода и эксплуатационные затраты зависят от качества предварительной очистки солода в полировочной машине, системы обеспыливания, работы камнеотборника и магнитного сепаратора.

2.2.2.8. Порошковый помол получают на молотковых дробилках или дробилках ударного действия с ситами, размер отверстий в которых составляет 0,5-1,0 мм. Определенное затруднение представляет измельчение оболочек, которое не должно препятствовать нормальной работе применяемых фильтрационных устройств. Окружная скорость бил составляет 70-120 м/с. Состав порошкового помола, определяемый с помощью пфунгштадских сит, отличается тем, что доля муки составляет 95-99 %, и разделить порошок невозможно. Для этого необходимы воздушоструйные сита, после которых в порошковом помоле содержится около 70 % частиц, размеры которых не превышают 150 мкм, и нет частиц размером более 400 мкм. Желательно, чтобы частиц размером менее 50 мкм было как можно меньше, так как они

склонны к образованию комков при затирании.

Такая тщательная подготовка солода позволяет добиться нормального состава сусла при очень коротких ферментативных паузах при затирании, которое можно вести непрерывно, однако для этого требуются отдельные устройства для разделения затора (вакуумный фильтр, система центрифугирования).

Энергозатраты при получении порошкового помола довольно высоки ($10-$

$12 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$), причем дополнительных затрат требует также износ дробильных устройств и сит. Дальнейшие разработки по тонкому помолу направлены на разделение его на муку, полученную из эндосперма, и муку, полученную из алейронового слоя.

2.2.3. Свойства и состав помола

На свойства и состав помола оказывают влияние следующие факторы.

2.2.3.1. Степень растворения солода имеет определяющее значение для выбора фракции помола. Чем хуже растворён солод, тем тоньше он должен быть размолот для беспрепятственного расщепления ферментами труднорастворимых и твердых частиц. Именно для такого солода следует применять шестивальцовые дробилки (как правило, с предварительным кондиционированием солода). Хорошо зарекомендовало себя мокрое дробление с непрерывным замачиванием.

2.2.3.2. Влажность солода влияет на тонкость помола. Чем влажнее и эластичнее солод, тем более грубым будет помол, особенно на гладких (нерифленых) вальцах. С увеличением влажности солода

возрастает доля оболочек со снижением содержания муки. В некоторых случаях прилипшие к оболочкам частицы грубой крупки не могут полностью растворяться и осахариваться при затирании. Процесс фильтрования сусла идет легче, однако возрастают потери с дробиной, и, наоборот, если сильно измельчить солод низкой влажности, то оболочки разрушатся, а содержание муки возрастет. Использовать в пивоварении молодой (невылежавшийся) солод не рекомендуется. Вследствие пониженного содержания оболочек в помоле ухудшается процесс фильтрования и вымывания дробины, а также уменьшается выход экстракта. Лучше использовать дробилки с кондиционированием солода (особенно дробилки для мокрого помола).

2.2.3.3. Способ затирания. Чем медленнее и тщательнее проводится процесс растворения при затирании и чаще выдерживаются ферментативные паузы, тем меньшее значение имеет состав помола. При интенсивном двухотварочном способе затирания помол может быть более грубым, чем при настойном и ускоренном способах затирания. Порошковый помол позволяет за 60-80 мин получить затор нормального состава. Вывод о соответствии состава помола применяемому способу затирания можно сделать по содержанию крахмала в дробине, по продолжительности фильтрования и величине выхода экстракта.

2.2.3.4. Определенный характер помола определяется фильтрационными установками. При использовании фильтрана степень измельчения помола с точки зрения использования оболочек в качестве фильтрующего слоя не может превышать некоторого предела. При помоле

с увлажнением и мокром помоле допускается более глубокое измельчение оболочек, чем при сухом помоле. При применении «стрейнмастера» помол может быть тоньше, а при использовании майш-фильтра оболочки как фильтрующий слой менее важны, так как в данном случае фильтрование производится через фильтровальное полотно. Однако и в этом случае дробление не может производиться до произвольной степени измельчения, поскольку образующаяся из оболочек мука снижает качество пива и затрудняет осветление. Здесь большое значение имеет кондиционирование солода. Для новых заторных фильтров и устройств фильтрования непрерывного действия в целях предотвращения расслоения смеси в большинстве случаев требуется порошковый помол.

2.3. Затирание

На этой стадии процесса пивоварения компоненты солода растворяются в воде. Образующийся при этом раствор называют суслом, а сумму растворенных компонентов — *экстрактом*.

2.3.1. Теория затирания

Перевод твердых частиц дробленого солода в растворенное состояние с помощью воды лишь в самой незначительной степени является простым самопроизвольным растворением, так как содержание водорастворимых веществ в солоде еще невелико. Для растворения веществ солода, как и в процессе прорастивания, необходим целый ряд ферментов, благодаря деятельности которых происходит расщепление высокомолекулярных органических соединений до низкомолеку-

лярных, после чего осуществляется их переход в водорастворимое состояние.

2.3.1.1. Расщепление крахмала является важнейшим ферментативным процессом, протекающем при затирании. Крахмал солода, подобно крахмалу ячменя, существует в виде крахмальных зерен и состоит из двух основных компонентов — *амилозы* и *амилопектина*. Амилоза состоит из глюкозных единиц, соединенных α -1,4-связями, а амилопектин — из глюкозных остатков, соединенных α -1,4- и α -1,6-связями (см. раздел 1.1.2.1).

Процесс растворения зерен крахмала при соединении и нагревании с водой проходит различные стадии, в которых действуют механические, химические и ферментативные процессы, а именно:

- набухание зерен крахмала;
- клейстеризация крахмала;
- собственно ферментативное расщепление крахмала.

В холодной воде крахмал не растворим, его зерна поглощают немного воды и набухают (окрашивание с йодом еще не происходит). При повышении температуры сначала усиливается набухание, при температуре 50 °С и выше зерна заметно увеличиваются в размере, а при 70 °С в них образуются небольшие радиальные трещины, увеличивающиеся вплоть до распадаения зерна крахмала на несколько слоев. Один ингредиент (амилоза) представляет собой коллоидный водный раствор чистого крахмала и определяется по реакции йодного окрашивания. Амилопектин при нагревании в воде растворяется с образованием коллоидной клейстеризованной массы, которая стабилизируется в растворе до образования крахмального клейстера. Образование этого клейстера при затирании не наблюдается, поскольку ферменты солода,

с одной стороны, понижают температуру клейстеризации, а с другой — разжижают крахмальный клейстер. Поэтому переработка большинства видов крахмала не вызывает затруднений, и лишь при переработке риса требуются специальные методы его предварительной обработки (см. раздел 2.3.3.9).

Расщепление крахмала происходит либо непосредственно с образованием мальтозы, либо с образованием декстринов различной молекулярной массы, моносахаридов и трисахаридов. Эти процессы происходят под действием разных ферментов, к важнейшим из которых относятся α - и β -амилазы, мальтаза, предельная декстриназа и сахараза.

β -амилаза присутствует уже в покоящемся зерне и при его проращивании переводится из латентного в активное состояние. Она расщепляет амилозу и амилопектин с нередуцирующего конца до мальтозы. В молекуле амилопектина расщепление β -амилазой прекращается при приближении к α -1,6-связи. Остаток амилопектина представляет собой так называемый «конечный β -декстрин», который дает с йодом красное окрашивание. Оптимальный диапазон действия β -амилазы находится в следующих пределах:

в чистых растворах крахмала	pH	4,6
	температура	40–50 °С
в заторе (некия-ченом)	pH	5,4–5,6
	температура	60–65 °С

При температуре выше 70 °С β -амилаза быстро инактивируется.

α -Амилаза разрушает макромолекулу крахмала изнутри, расщепляя комплекс на крупные фрагменты. Вязкость крахмального клейстера быстро падает, йодная реакция также исчезает относительно быстро. Тем самым создаются новые возможности для воздействия β -амилазы. В непоросшем ячмене α -амилаза не

встречается, однако начиная со 2-го дня проращивания равномерно развивается, а-Амилаза разрушает только а-1,4-связи, не затрагивая а-1,6-связи. В качестве продуктов расщепления образуются а-предельные декстрины с а-1,6- и а-1,4-связями и олигосахариды, содержащие по 6-7 глюкозных остатков, а при более длительном воздействии — также мальтоза и глюкоза. Оптимальный диапазон действия α -амилазы находится в следующих пределах:

в чистых растворах	pH	5,6
крахмала	температура	60-65 °С
в заторе	pH	5,6-5,8
	температура	72-75 °С

При температуре выше 80 °С α -амилаза быстро инактивируется.

Предельная декстриназа расщепляет а-1,6-связи амилопектина и предельных декстринов. Она способна сместить баланс (80 % мальтозы и 20 % декстринов) при расщеплении крахмала в сторону низкомолекулярных продуктов. Оптимальное значение pH затора составляет 5,1, оптимальная температура — 55-60 °С; при температуре свыше 65 °С фермент быстро инактивируется.

Мальтаза расщепляет мальтозу на две молекулы глюкозы. При низких температурах затирания (35-40 °С) образуется несколько больше моносахаридов, в связи с чем можно предположить, что данный диапазон температур оптимален для действия этого фермента. Оптимальное значение pH 6,0.

Сахараза активна при затирании и расщепляет сахарозу на глюкозу и фруктозу. Оптимальные условия для действия этого фермента — значение pH 5,5 и температура 50 °С, но расщепление сахарозы происходит при температуре 62-67 °С.

Благодаря комплексному действию α -и β -амилазы крахмал переводится

главным образом в мальтозу (40-45%), однако остается некоторое количество крупных остатков, в которых самая маленькая молекулы мальтотриозы (трисахариды) сохраняется относительно постоянным (11-13%). Мальтотриоза, как и глюкоза (5-7%), является побочным продуктом деятельности α - и β -амилаз при условии, что при пониженных температурах под действием мальтазы уже не была образована глюкоза. Вследствие малого сродства β -амилазы к низкомолекулярным декстринам часть их остается не гидролизованной (обычно это декстрины с 4, 5, 6 и 7 глюкозными остатками), тогда как α -амилаза расщепляет крахмал до декстринов с 6-7-ю глюкозными остатками (при этом образуется примерно 20% сбраживаемых сахаров). Эти декстрины включают также предельные α -декстрины, которые сохраняются, так как при оптимальных температурах действия α -амилазы необходимая для их расщепления предельная декстриназа уже инактивирована.

Наряду с низкомолекулярными декстринами (G4-G9), составляющими 6-12 %, в сусле имеются также декстрины с большей молекулярной массой (от 19 до 24 %). Даже сусло, дающее нормальную реакцию с йодом, может содержать олигосахариды, имеющие 5 и более разветвлений, в состав которых входит до 60 глюкозных остатков. Фруктоза (1,0-3,5 %) и сахароза (2,5-6 %) образуются в ходе процессов расщепления еще при солодоращении; в результате действия сахаразы содержание фруктозы (глюкозы) можно повысить, причем содержание сахарозы, естественно, понизится.

Гидролиз крахмала в практике приготовления пива осуществляется в соответствии со следующими положениями.

1. Затор, а позднее сусло, должны характеризоваться нормальной йодной пробой, то есть гидролиз крахмала следует вести до тех пор, пока среди продуктов его гидролиза уже не будет продуктов, дающих йодное окрашивание. Это происходит в случае, когда в состав линейных декстринов входит не более 9 глюкозных остатков (G9), а в состав разветвленных — не более 60 (G60). Наряду с «простой» йодной пробой фотометрическая йодная проба позволяет определить нормальное йодное окрашивание (менее 0,3 ΔЕ), а также количество декстринов, характеризующихся положительным йодным окрашиванием.
2. Конечная степень сбраживания сусла должна соответствовать желаемому типу пива. Так, видимая конечная степень сбраживания светлых сортов пива составляет 78-85 %, темных — 68-75%.

Для реализации этих основных требований при затирании следует соблюдать целый ряд условий, содействующих образованию сбраживаемых Сахаров. Конечная степень сбраживания сусла тем выше, чем лучше растворен солод, тоньше помол, больше количество и продолжительность действия амилаз. Темный солод осахаривается медленнее и характеризуется более низкой конечной степенью сбраживания, чем светлый.

При трехотварочном способе затирания, применяемом для темного солода, основное количество амилаз теряется, в связи с чем в первом сусле содержится менее 10 % первоначального количества амилаз. Важнейшими факторами, обуславливающими активность амилаз, являются температура и значение рН затора.

Температура влияет на амилазную активность двояко: при нагревании выше 50 °С амилазная активность повышается, но начиная с температуры 65 °С происходит инактивация β-амилазы, а выше 72 °С — ослабление действия α-амилазы. Таким образом, действие ферментов при их оптимальной температуре нарушается, и поэтому частицы крахмала должны быть способны к гидролизу еще до достижения этих температур. В густых заторах амилазы более стойки благодаря большому содержанию защитных коллоидов, чем в жидких заторах. Максимальное содержание Сахаров при прочих равных условиях обнаруживается в диапазоне температур 60-65 °С, а нормальное йодное окрашивание быстрее всего происходит при температуре около 76 °С. Эти процессы отражены в табл. 2.10.

Конечная степень сбраживания и состав сахаров улучшается, если затирание проводить при температурах ниже оптимальных. В этом случае происходит

Таблица 2.10. Показатели затора в зависимости от температуры

Температура, °С	60	65	70	75	50/60
Конечная степень сбраживания, %	87,5	86,5	76,8	54,0	88,2
Температура, °С	68	70	72	74	76
Продолжительность осахаривания, мин	35	20	15	10	5
Значение рН	6,08	5,86	5,64	5,42	5,19
Конечная степень сбраживания, %	72,7	76,5	77,0	77,4	69,9
Продолжительность осахаривания, мин	30	20-25	10-15	15-20	30

растворение эндосперма под действием ферментов, которое при наступлении оптимальных температур может усиливаться. Осахаривание при температуре 76 °С идет так быстро потому, что уже в ходе нагревания конгрессного сусла наблюдаются описанные выше процессы набухания, клейстеризации и ферментативного расщепления. Например, при относительно высоких температурах затирания вполне возможно, что инактивация ферментов будет происходить быстрее, чем расщепление составных частей эндосперма. В этом случае затор не будет характеризоваться нормальным йодным окрашиванием и, следовательно, скорость нагревания затора до температуры осахаривания влияет и на конечную степень сбраживания, и на продолжительность осахаривания.

Реакционная способность затора влияет как на конечную степень сбраживания, так и на продолжительность осахаривания, что объясняется различным оптимумом значения рН для обеих амилаз. Если снижение значения рН с 5,8 до 5,4 способствует усилению активности β -амилазы, то действие α -амилазы при этих значениях рН уже ограничено. Кроме того, затирание с использованием воды с высокой остаточной щелочностью отрицательно сказывается на конечной степени сбраживания сусла.

Увеличение продолжительности осахаривания приводит к повышению конечной степени сбраживания сусла лишь при пониженных температурах (табл. 2.11).

Таблица 2.11. КСС в зависимости от продолжительности осахаривания

Продолжительность осахаривания, мин	15	60
Конечная степень сбраживания:		
при 62 °С	84	89
при 70 °С	78	78

При 70 °С дальнейшего повышения степени сбраживания не происходит, так как β -амилаза уже инактивирована, однако может наблюдаться дальнейшее расщепление высокомолекулярных декстринов в низкомолекулярные.

Влияние концентрации затора на расщепление крахмала при хорошо растворенном солоде незначительно. При высокой концентрации (1 : 2,5) несколько возрастает образование мальтозы (благодаря действию защитных коллоидов), однако действие α -амилазы может ингибироваться, что проявляется в увеличении продолжительности осахаривания.

Тонкость помола определяет скорость экстрагирования фермента и субстрата, однако она больше сказывается на образовании гексоз, чем на общем количестве сбраживаемых Сахаров. При этом уменьшается время до наступления нормального йодного окрашивания.

2.3.1.2. *Расщепление белков* имеет такое же важное значение, как и гидролиз крахмала, хотя в процессе расщепления участвует и относительно небольшое их количество. При солодоращении гидролиз азотсодержащих веществ происходит значительно интенсивнее, чем гидролиз крахмала, и при затирании образуется значительно больше труднорастворимых соединений азота, чем при солодоращении.

Между процессами расщепления крахмала и белка имеются существенные отличия. Если крахмал солода выступает в процессе затирания как однородное вещество со сравнительно простой структурой, то белковые вещества солода представляют собой смесь всевозможных азотсодержащих веществ — от высокомолекулярных нативных белковых соединений до простейших структурных

элементов белковой молекулы (аминокислот). Кроме того, расщепляющие белки ферменты представляют собой не два вполне определенных фермента, а многообразный комплекс эндо- и экзопептидаз, действующих в различных условиях, причем часть белков может осаждаться под влиянием температуры или рН затора.

Важнейшие для нас азотсодержащие соединения можно разделить на собственно белки и продукты их расщепления. Первые уже присутствовали в ячмене (они или не были расщеплены во время проращивания, или в ходе проращивания снова накопились в листке зародыша). Речь идет о нерастворимых в заторе и сусле глютелинах и проламинах, а также о растворимых белковых веществах, например, альбуминах и (частично) о глобулинах (см. раздел 1.1.2.8).

Важнейшими продуктами расщепления белка солода, образующимися при проращивании под действием протеолитических ферментов, являются макропептиды, полипептиды, простые пептиды и аминокислоты (см. раздел 1.4.1.2). При затирании солода растворимые азотсодержащие вещества переходят в затор. В ходе затирания они подвергаются дальнейшему расщеплению протеолитическими ферментами (в случае их способности к расщеплению). Первоначально нерастворимые белковые вещества под воздействием ферментов переходят в растворимую форму, хотя большая их часть остается в дробине нерасщепленной. Содержание растворимого азота во время затирания увеличивается: эндопептидазы воздействуют на нативный белок и расщепляют его с образованием полипептидов и (при увеличении длительности воздействия) низкомолекулярных соединений, а экзопептидазы переводят эти продукты расщепления в аминокислоты.

Хотя в процессе затирания происходит абсолютное увеличение доли низкомолекулярного азота (в первую очередь аминокислот), под действием эндопептидаз из протеинов образуются высокомолекулярные соединения, благодаря чему практически не наблюдается снижения содержания высокомолекулярных фракций.

Растворенные в сусле нативные белковые вещества, например альбумины и глобулины, осаждаются при высоких температурах затирания, особенно во время кипячения. Высокомолекулярные продукты расщепления белков также могут быть склонны к коагуляции благодаря реакции с дубильными веществами солода, а средне- и низкомолекулярные фракции в сусле всегда сохраняют растворимую форму.

Содержание проламинов, представляющих собой резервные белки, зависит от сорта ячменя и растворимости солода. При гидролизе они дают в основном пролин и глютаминовую кислоту, а также цистеин и цистин. Проламины частично расщепляются при затирании и переходят в растворимую форму. Благодаря процессам окисления образуются высокомолекулярные полипептиды, которые при повышенных температурах затирания становятся нерастворимыми и образуют в дробине своего рода «тесто». Они могут затруднять процесс фильтрования сула. Аналогичное поведение свойственно и так называемым «гель-протеинам», образующимся в ходе солодоращения в результате редуцирования дисульфидных мостиков. Благодаря процессам окисления при затирании они могут образовывать высокомолекулярные соединения, в состав которых входят глютелины и альбумины. Благодаря гидрофобным свойствам глютелинов происходит также адсорбция

липидов. Мелкие зерна крахмала, β -глюканы и пентозаны, связанные с протеинами, также участвуют в образовании белковых комплексов, образующих указанное «тесто» и могут затруднить высвобождение зерен крахмала и тем самым — действие амилаз; замедляется также фильтрование.

Следует упомянуть также гликопротеиды, представляющие собой белки, связанные с углеводородной группой ковалентной связью. При солодоращении они расщепляются по мере процесса растворения, а при затирании — во время длительных пауз при температурах 50-65 °С. При температуре 70-72 °С в течение 60-90 мин происходит высвобождение из гликопротеидов высокомолекулярных групп, которые больше не расщепляются, в результате чего возрастает вязкость сусла. Гликопротеиды способствуют повышению пеностойкости пива.

Значение высокомолекулярных групп, с одной стороны, для пенообразующих свойств пива, полноты вкуса, способности связывать углекислоту, для небактериологического помутнения, а с другой — значение аминокислот для питания дрожжей позволяют сделать вывод о том, что процесс расщепления белков не должен быть ни очень коротким, ни излишне глубоким. Следствием слишком низкого расщепления белков может стать недостаточная стабильность пива, а также неудовлетворительное питание дрожжей. В результате излишне глубокого расщепления белков при данном качестве солода получается пиво с неполным вкусом и недостаточной стойкостью пены, а при определенных обстоятельствах — пиво, подверженное инфицированию.

Получение желаемой степени расщепления белков зависит от степени растворимости белка и содержания фер-

ментов в солоде, а также от условий затирания, в частности, от температуры и продолжительности ее воздействия, от pH затора и его концентрации.

У солода с высокой степенью растворения белка следует избегать слишком интенсивного расщепления белков, а у малорастворенного солода в ходе затирания требуется соответствующая коррекция расщепления белков. Оптимальные условия для действия протеолитических ферментов (протеаз) приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12. Оптимальные pH и температура для действия протеаз

Фермент	Значение pH	Температура, °С
Эндопептидаза	5,0	40-50 (60)
Карбоксипептидаза	5,2	50 (60)
Дипептидаза	8,2	40-45
Аминопептидаза	7,2	40-45

Оптимальные значения pH и температуры для действия эндо- и карбоксипептидаз примерно совпадают, но первые более чувствительны к действию температуры и продуцируют меньше свободных концевых групп, тогда как карбоксипептидазы могут гидролизировать белки до аминокислот.

Таким образом, содержание и активность эндопептидаз является лимитирующим фактором для дальнейшего расщепления образовавшихся пептидов до аминокислот. Карбоксипептидазы отвечают за образование 80 % аминокислот, выделяющихся при затирании, так как дипептидазы при значениях pH затора действуют ограниченно, а аминопептидазы расщепляют пептиды до аминокислот только при пониженных температурах и значениях pH затора более 8.

Температурный интервал, наиболее благоприятный для гидролиза белка,

сравнительно широк (40-60 °С), причем при температуре 50 °С наблюдается явный пик. Вне этих температурных границ протеолиз постоянно уменьшается, а при температуре около 80° С полностью прекращается. При температурах 45-50 °С доля низкомолекулярных азотсодержащих соединений по сравнению с высокомолекулярными несколько возрастает, а при температурах 60-70 °С происходит усиленное образование коллоидных высокомолекулярных азотистых соединений. При этом возможность воздействия на этот процесс с учетом указанных выше сходных оптимальных условий для действия эндопептидаз и карбоксипептидаз, невелика. После температур расщепления белка, которые в большинстве случаев поддерживаются на уровне 47-53 °С в виде «белковой паузы», применяют более высокие температуры, необходимые для осахаривания затора. При 65-70 °С еще отмечается заметное растворение белка, идущее тем интенсивнее, чем больше ферментов сохранилось при пониженных температурах. Растворимые протеазы при температуре 70 °С быстро инактивируются, а ферменты, первоначально нерастворимые и перешедшие в раствор после гидролиза соединений, находящихся в протоплазме, при этой температуре способны некоторое время действовать. Можно предположить, что именно эти десмоферменты ответственны за то, что даже при высоких температурах затиранья не удается довести растворение белка ниже значения, заданного сортом солода. Ускорение процесса расщепления белков и, таким образом, увеличение содержания растворимого азота происходит в том случае, если затиранье проводится при температурах ниже оптимальных, так что к моменту наступления температур гидролиза

азотсодержащие соединения эндосперма и ферменты оказываются уже растворенными. При декокционном способе затиранья температурный интервал между белковой паузой и температурой затора после возвращения отварки также влияет на растворение и состав азотсодержащих веществ. Чем выше разность температур после возвращения первой и второй отварок, тем хуже растворяются в сусле белковые вещества, причем при этом происходит изменение фракционного состава белковых и увеличение содержания высокомолекулярных азотистых соединений.

Влияние продолжительности белковой паузы определяется соответствующей температурой. При постоянной температуре затиранья содержание различных фракций азота сначала непрерывно возрастает, и хотя содержание высокомолекулярного азота растет в абсолютном отношении, его доля в общем азоте сокращается. Доля низкомолекулярных соединений, в первую очередь аминокислот, увеличивается как в абсолютном, так и процентном отношении, однако в ходе белковой паузы скорость инактивации ферментов превышает скорость их растворения. Так, например, протеолитическая активность оставшейся части затора при двухотварочном способе во время примерно двухчасового нахождения в заторном аппарате при температуре 50 °С снижается примерно в 2 раза по сравнению с исходным значением. Благодаря введению отварки она еще раз кратковременно активизируется, однако при температуре около 65 °С эта фаза сменяется быстрым и продолжительным спадом протеолитической активности.

На активность протеаз существенно влияет значение рН затора. Чем больше оно приближается к 5,0, тем больше воз-

растает содержание всех фракций, включая низкомолекулярные азотсодержащие соединения. Вода с высокой остаточной щелочностью замедляет протеолиз, и напротив, устранение карбонатной жесткости воды, добавление гипса, хлорида кальция или даже подкисление может значительно его усилить.

Концентрация затора важна для ферментативной активности вследствие действия защитных коллоидов. В концентрированных заторах (в первой и второй отварке — 1 : 2,5) содержание низкомолекулярного азота возрастает сильнее, чем в разбавленных частях.

Контроль расщепления белков можно вести путем определения содержания растворимого азота, коагулируемого азота и высокомолекулярных фракций. Желательно проводить регулярную проверку доли ассимилируемого азота в общем азоте горячего охмеленного сусла, которую можно примерно определить по содержанию формольного азота (33 %) или по содержанию α -аминного азота (22 %). Высокомолекулярный азот, стимулирующий ценообразование и полноту вкуса, следует указывать в процентах к растворимому азоту. Контролируемой величиной является также интенсивность затирания по Кольбаху (число Кольбаха), нормальное значение которого составляет 104, высокое — более 110, а низкое — ниже 100. Простого и ускоренного оперативного метода контроля расщепления белков (типа йодной пробы для определения степени расщепления крахмала), до сих пор не выработано.

2.3.1.3. При затирании продолжается также *расщепление гемицеллюлоз и гумми-веществ*, начавшееся при солодоращении. Изначально гемицеллюлозы солода нерастворимы. Они состоят из высоко-

молекулярных β -гликоанов и пентозанов и связаны с высокомолекулярными белковыми соединениям клеточных стенок одной эфирной связью (гидроксильная группа β -гликоанов с карбоксильной группой протеинов). В результате воздействия β -гликоаносолюбилазы — карбоксипептидазы, которая может действовать и как эстераза, гемицеллюлозы переходят в раствор при температурах выше 55 °С и до 70 °С. Они повышают вязкость затора и сусла. Высвободившиеся β -гликоаны состоят из глюкозных единиц с β -1,4- и β -1,3-связями (в отношении 70 : 30). Хотя последовательность из двух-трех β -1,4-связей преобладает над β -1,3-связью, могут также существовать цепочки из β -1,4- и β -1,3-связей, которые затрудняют расщепление с помощью эндо- β -1,4-гликоканазы, а также неспецифической эндо- β -гликоканазы (оптимальная температура — 40–45 °С, pH 4,7–5,0, инактивация при температуре выше 50 °С) и менее эффективной эндо- β -1,3-гликоканазы (оптимальная температура 60 °С, pH 4,6/5,5, инактивация при температуре выше 70 °С). Экзо- β -гликоканазы еще более чувствительны, чем эндо- β -1,4-гликоканазы. Так как β -гликоаносолюбилаза оказывает заметное действие в интервале температур 63–70 °С, то эндо- β -гликоканазы способны лишь ограниченно расщеплять высокомолекулярный вязкий β -гликоан, высвободившийся при этих температурах. Расщепление пентозанов, состоящих из арабоксила, происходит под действием эндо- и экзоксилаз (оптимальная температура 45 °С), а также арабинозидазы (оптимальная температура 40–45 °С), причем степень превращений здесь существенно меньше, чем под действием гликоканаз.

Расщепление гемицеллюлоз протекает в несколько этапов:

- а) сначала в раствор переходят свободные гумми-вещества, уже имеющиеся в солоде, повышая вязкость затора;
- б) в диапазоне температур 35-50 °С под действием эндо-β-1,4-глюканазы и неспецифических эндо-β-глюканаз происходит расщепление этих высокомолекулярных соединений до глюканодекстринов и веществ с более низкой молекулярной массой. Вязкость снижается;
- в) при температурах 45-55 °С при участии эндо-β-глюканазы продолжается растворение экстракта с высвобождением β-глюканов, которые вследствие ослабления действия эндо-β-глюканазы расщепляются довольно медленно. При этом возможно действие эндо-β-1,3-глюканазы;
- г) начиная с температуры 55 °С и до 70 °С β-глюкансолюбилаза отщепляет высокомолекулярный β-глюкан от его соединений с белком. Содержание β-глюкана и вязкость возрастают тем больше, чем выше температура в интервале 60-70 °С, так как при 60 °С эндо-β-1,3-глюканаза еще способна оказывать определенное воздействие, а начиная с температуры 65 °С она все больше ингибируется. Эндо-β-1,4-глюканаза больше не действует, так как она была инактивирована уже при температуре 50-55 °С.

Количество β-глюкана, освобожденного при затирании, зависит в первую очередь от степени и однородности растворения солода. Содержание β-глюкана в сусле из солода с разной степенью растворения может различаться в 10-14 раз. Особенно неблагоприятными являются смеси из солода со значительно различающимся цитолизом компонентов, особенно их солода с непропорциями.

На расщепление вязких веществ влияют температура затирания, белковые паузы и, в меньшей степени, значение pH затора. Такое расщепление лучше всего протекает при температурах около 45 °С, а более низкие температуры затирания, например 35 °С перед паузой при 50 °С, существенно усиливают процесс превращений. Следствием повышенных температур затирания (порядка 62 °С) является быстрая инактивация эндо-β-глюканазы, и в этом случае сусло характеризуется высоким содержанием гумми-веществ. Тем не менее подбором способа затирания содержание β-глюкана при работе со слабо растворенным солодом можно скорректировать лишь примерно на 30%.

Содержание пентозанов изменяется в меньшей степени. Большие различия наблюдаются у слабо и неравномерно растворенного солода также в содержании в дробине гумми-веществ, которые могут замедлять процесс фильтрования. Так как гумми-вещества влияют на пенообразование и полноту вкуса пива, то слишком глубокого расщепления белков в случае хорошо растворенного солода следует избегать. В данном случае целесообразнее использовать повышенные температуры затирания (55-62 °С). Контроль расщепления β-глюкана можно осуществлять по вязкости горячего охмеленного сусла (ниже 1,85 мПа в 12%-ном экстракте) или непосредственно по содержанию в сусле β-глюкана (менее 200 мг/л).

2.3.1.4. Изменение содержания фосфатов. Содержащиеся в солоде кислые фосфатазы расщепляют органические фосфаты солода. При этом выделяется фосфорная кислота, которая затем реагирует с первичными фосфатами и диссоциирует ионы водорода. Вследствие этого повышается кислотность затора,

что проявляется в снижении значения рН и повышении буферности затора, сусла и пива. Оптимальные условия для действия фосфатаз — рН 5,0 и температура 50-53 °С. Эти ферменты действуют и при более высоких температурах, так как каждая пауза (при 50, 62, 65 и даже при 70 °С) повышает буферность, но их активность снижается (наиболее предпочтительна температура 50 °С). Самые низкие значения рН, а также самая низкая буферность затора достигаются при температуре затирания 62-65 °С. Снижение значения рН затора приводит к повышению буферности, которая впоследствии может ослабить снижение рН в ходе брожения.

2.3.1.5. Расщепление липидов. Вместе с солодом в затор вносятся липиды, состоящие в основном из триглицеридов, моно- и диглицеридов, свободных жирных кислот и нейтральных липидов (например, фосфолипидов). На расщепление липидов влияют два различных фактора. С одной стороны, на них действуют липазы, расщепляющие липиды до глицеридов (глицерина) и свободных жирных кислот (оптимальные температуры — 35-40 и 65-70 °С). Благодаря действию липаз возрастает содержание свободных жирных кислот. С другой стороны, жирные кислоты окисляются липоксигеназами (при 35-50 °С), что проявляется в уменьшении содержания линолевой и линоленовой кислот по сравнению с их первоначальным содержанием в солоде. После инактивации липоксигеназ при температуре 65 °С (втором оптимальном диапазоне для липаз) наблюдается существенное увеличение содержания линолевой и линоленовой кислот. Действие липоксигеназ зависит от потребления кислорода при затирании.

Содержание липидов в заторе при правильном фильтровании удерживается на определенном уровне или они осаждаются в процессе кипячения сусла.

2.3.1.6. На содержание полифенолов и антоцианогенов при затирании влияют несколько процессов. С повышением температуры и продолжительности затирания увеличивается их растворение. Фенольные и полифенольные соединения освобождаются в ходе двух параллельно протекающих реакций расщепления, например, расщепления белков и гликозидов. Их количество уменьшается также под действием пероксидаз (в диапазоне температур 40-50 °С) или полифенолоксидаз, наиболее активных при температуре 60-65 °С. Так как изменения в содержании полифенолов особенно четко выражены при температурах 40-50 °С (особенно если при одноотварочном способе затирания или в результате перемешивания происходит аэрация затора), то повышенные температуры затирания, например до 62 °С, вызывают увеличение содержания полифенолов в заторе и сусле. При доступе воздуха происходит снижение общего содержания полифенолов и антоцианогенов, в результате чего ухудшается индекс полимеризации. Из сильно растворенного солода в затор переходит больше полифенолов желаемого состава (см. раздел 1.4.1.6); в солоде, высушенном при высоких температурах, присутствует лишь незначительное количество оксидаз, благодаря чему поддерживается высокое содержание в сусле полифенолов и антоцианогенов.

2.3.1.7. Содержание цинка в заторе важно потому, что этот микроэлемент входит в состав алкогольдегидрогеназы. Недостаток цинка в начальном сусле проявляется

в плохом размножении дрожжей, затяжном главном брожении и дображивании, а также в неполном восстановлении ди-ацетила или его предшественника 2-ацетолактата. В солоде содержится 3-3,5 мг цинка на 100 г СВ, причем наибольшая концентрация цинка отмечается во внешних слоях зерна (оболочке и алейроновом слое). При затирании в раствор переходит лишь 20-25% цинка, после чего содержание цинка постоянно уменьшается до 0,05-0,20 мг/л (в отфильтрованном пивном сусле). Еще одно сильное снижение содержания цинка происходит при кипячении сусла. Его содержание не должно превышать 0,15 мг/л.

Эксперименты показали положительное влияние следующих параметров затирания на содержание цинка: проведение затирания при температуре 45-50 °С, пауза в течение 30-60 мин, значение рН 5,45, небольшой главный налив при затирании (соотношение засыпь : налив — 1 : 2,5) и добавление горячей воды в ходе повышения температуры до соотношения засыпь : налив 1 : 4.

2.3.1.8. Окисление компонентов затора на фракции проламина или гель-протеинов может препятствовать расщеплению крахмала, β -глюканов и белков. Содержание полифенолов снижается, но прежде всего уменьшается содержание более чувствительных антоцианогенов и таннидов. Этот процесс ферментативно катализируется пероксидазами (оптимальная температура — 45 °С) и полифенолоксидазами (оптимальная температура — 65 °С). Получаемые в результате сусло и пиво характеризуются более темным цветом, более размытым и менее стабильным вкусом.

Степень поглощения кислорода при затирании зависит от оборудования,

например, от устройств подачи затора, подсоса воздуха при перекачивании, а также от интенсивности перемешивания. Имеет значение и форма заторных аппаратов — например, в прямоугольных заторных аппаратах для получения хорошего затора требуется более интенсивное перемешивание. Рекомендуется подача затора солода в аппарат снизу и перекачивание затора через сливные клапаны. Прямое определение содержания кислорода в заторе невозможно из-за активности оксидаз; косвенную оценку поглощения кислорода получают путем моделирования затирания с помощью раствора сульфита натрия по расходу этого реагента. В неблагоприятных условиях его расход составляет до 200 мг/л в течение всего процесса затирания, а в оптимизированных условиях варочных цехов — около 30-40 мг/л.

Отсутствие доступа кислорода при затирании приводит к усиленному расщеплению белков, проявляющемуся в повышении содержания растворимого азота и снижении содержания высокомолекулярных фракций в пользу свободного α -аминного азота. Расщепление β -глюкана проходит интенсивнее, как и расщепление крахмала, что проявляется в повышении конечной степени сбраживания и более благоприятных значениях йодной пробы. Содержание полифенолов (особенно антоцианогенов и таннидов) существенно возрастает. Во избежание слишком глубокого расщепления белков необходимо при известных условиях скорректировать параметры затирания.

2.3.2. Практика затирания

2.3.2.1 Процесс затирания начинается со смешивания дробленого солода с заторной водой. При этом большое значение

имеют количество воды, используемой для растворения дробленого солода (то есть соотношение солода и воды), а также температура, при которой заторная вода добавляется к данному количеству солода.

2.3.2.2. *Количество солода*, которое должно быть переработано за одну варку, называют засыпью, а количество воды, используемой для этого процесса, — наливом. Смесь солода и воды называется затором. Налив подразделяют на *главный налив* и *долив*. Общее количество воды, необходимое для приготовления сусла, добавляется к засыпи не за один раз — сначала добавляется вода, требующаяся для растворения компонентов солода и биохимических превращений (главный налив). Получаемый раствор экстракта называют *первым суслом*. Промывная вода предназначена для вымывания остатков экстракта, сохранившихся в дробине после фильтрования первого сусла.

Для состава первого сусла большое значение имеет главный налив, а количество промывной воды влияет на полноту выделения экстракта. Оба эти фактора взаимосвязаны — если главный налив больше, то количество промывных вод меньше, и наоборот. Соотношение этих двух показателей у светлых и темных сортов пива принципиально отличается. Распределение общего количества воды на главный налив и промывные воды называются *ведением налива*.

Состав сусла зависит от объема главного налива, так как концентрация затора влияет на ферментативную активность. При высокой концентрации действие некоторых ферментов замедляется, а отдельные процессы расщепления протекают интенсивнее и глубже, чем в жидких заторах. В основном это сказывается на

скорости осахаривания, которая в более плотных заторах замедляется. Объем главного налива влияет и на фильтрование. Количество экстракта, остающегося в дробине после выпуска первого сусла, тем больше, чем меньше главный налив и чем выше концентрация первого сусла, причем изменяется не только доля выхода экстракта, приходящаяся на первое сусло и промывные воды, но и способ промывания дробины. Чем больше первого сусла задерживается в дробине, тем сильнее ее необходимо промывать. Уменьшение выхода экстракта с первым суслом обуславливает увеличение его выхода с промывными водами. Необходимость усиленного промывания дробины способствует повышенному выщелачиванию красящих и других веществ, неблагоприятно сказывающихся на качестве светлого пива. Таким образом, величина главного налива является одним из основных факторов, обуславливающих тип и качество пива, так как от нее зависит целый ряд последующих технологических мероприятий. Она должна быть строго определенной и не изменяться от варки к варке. Расчет главного налива и общего объема затора производится по приведенным ниже формулам.

$$\text{Объем главного / 100 кг} = \frac{\text{Выход солода (на ВСВ)} \times \left[100 - \frac{\text{Концентрация первого сусла}}{\text{Концентрация первого сусла}} \right]}{\text{Концентрация первого сусла}}$$

кг (г) воды;

$$\text{Общий объем / 100 кг} = \frac{\text{кг (г) главного} + 0,7 \cdot \text{кг (г) налива}}{\text{затора засыпи}}$$

С помощью слагаемого 0,7 учитывается объем затираемого дробленого солода на 100 кг.

На практике расход воды несколько выше, так как, во-первых, при кипячении затора вода испаряется, а во-вторых, вода по-разному подкачивается для опорожнения емкостей и трубопроводов. Во избежание колебания соотношения первого сусла и промывных вод первое сусло всегда должно иметь одну и ту же концентрацию, для чего рекомендуется провести калибровку заторного и фильтрационного аппаратов и определять количество затора, получаемого в каждой варке.

2.3.2.3. Процессы налива для получения светлого и темного пива принципиально отличаются. Для *светлого пива* выбирают больший главный налив, получая жидкий затор и ускоряя ход ферментативных реакций. При этом необходимость в варке затора меньше, чем для темного пива. Менее концентрированное первое сусло содержит больше ценных экстрактивных веществ, а при более высоком выходе первого сусла требуется меньше промывной воды. Разница между концентрацией первого сусла (14-15%) и концентрацией горячего охмеленного сусла (11-12 %) составляет всего 2-3 %. Принцип использования жидкого первого сусла нередко нарушается, и в этом случае концентрация первого сусла может составлять 16-17 % (в зависимости от требований к типу пива). При получении *тёмного пива* желательно использовать небольшой главный налив, что способствует получению плотного затора и высококонцентрированного первого сусла. В случае плотных заторов обращают мало внимания на и без того ослабленные при сушке солода ферменты, пытаясь добиться растворения солодового крахмала путем физического воздействия, например с помощью кипячения отварок (и в настоящее время темное

пиво зачастую получают по трехотварочному способу). При длительном кипячении плотного затора происходит легкая карамелизация сахара и выщелачивание составных частей оболочек, благоприятно сказывающиеся на вкусе темного пива. Этому процессу содействует большее количество промывных вод, требующееся вследствие высокой концентрации первого сусла. Таким образом, у темного пива в отличие от светлого выход первого сусла меньше, а долива — больше. Соответственно, между концентрацией первого сусла и горячего охмеленного сусла разница больше — около 6-7 %. Горячему охмеленному суслу концентрацией 12,5-13,5 % соответствует концентрация первого сусла 18-20%. Главный налив для светлого пива составляет 4-5 гл воды, а для темного — 3,0-3,5 гл/100 кг солода.

При получении светлого пива можно сначала готовить более плотные заторы (1 : 2,5), стимулируя тем самым действие ферментов, расщепляющих белки, и лишь затем, в области температур осахаривания, добавлять воду до полного объема главного налива (1 : 4) одновременно с внесением в затор фракции оболочек. Такой способ используется для получения возможности использовать горячую воду, образующуюся при охлаждении сусла, и при низких температурах затираания (см. раздел 2.7.6).

2.3.2.4. Количество промывных вод определяется практически выбором главного налива. В любом случае их количество должно быть таким, чтобы экстракт, оставшийся в дробине после слива первого сусла, можно было извлечь максимально полно и за короткое время. Промывные воды существенно влияют на выход экстракта. Их количество примерно

равно разности между объемом сусли перед началом кипячения с хмелем и объемом первого сусли. При условии соблюдения нормальных условий кипячения сусли (продолжительность кипячения, испарение) оно составляет 4-5 гл/100 кг засыпи. Об эффективности промывания дробины судят по содержанию СВ в последней промывной воде (0,5-0,85 %) или по содержанию вымываемого экстракта (0,4-0,6 %). У особо высококачественного пива с низкой концентрацией первого сусли, например у Пильзенского, или у очень светлого экспортного пива выщелачивание меньше, а концентрация сухих веществ последней промывной воды выше. Учитывая высокую стоимость энергии, для испарения избыточного количества промывной воды невозможно увеличивать продолжительность кипячения сусли больше заданного той или иной системой кипячения (см. раздел 2.5.2).

Для расчета соотношения главного налива к промывной воде важна также остаточная щелочность пивоваренной воды. Для светлого пива при неблагоприятном составе пивоваренной воды увеличивают объем главного налива, что позволяет извлечь больше полезного экстракта и избежать отрицательного действия промывной воды. У бедного ферментами солода выбирают менее концентрированный главный налив, что позволяет ускорить действие ферментов и быстрее получить осахаривание с нормальной йодной реакцией.

2.3.2.5. Температура воды для затириания определяет интенсивность затириания и выбор способа его проведения. Затириание может проводиться при температуре 50 °С (расщепление белков, гумми-веществ и фосфатов) или 62 °С (оптимальные

условия для действия β-амилазы). Температуры 35-40 °С используют не в целях образования кислот (как это считалось ранее), а для повышения интенсивности процессов расщепления, начинающихся при достижении температуры 50 °С (компоненты эндосперма при этом размягчаются и частично растворяются, благодаря чему высвобождающиеся лиоферменты могут действовать более интенсивно при последующем повышении температуры до оптимальной).

Чем лучше растворен солод и чем больше ферментов он содержит, тем менее длительным может быть процесс затириания. Чем выше начальная температура затириания, тем, естественно, меньше времени занимает весь процесс. Поскольку затириание всегда заканчивают при температуре 77 °С, то при температуре начала затириания 35 °С интервал температур составляет 42 °С, при температуре начала затириания 50 °С — 27 °С, а при 62 °С - 15 °С.

При трехотварочном способе затириания, начинающемся при температуре 35 °С, затор выдерживается при всех необходимых температурах (35, 50, 62 и 77 °С). При двухотварочном способе затириание начинают с температуры 50 °С, исключая первую отварку. Начиная затириание при температуре 62-65 °С, активность ферментов, оптимально действующих при 50 °С (особенно протеаз и глюкеназ), ограничивается, и в этом случае используют короткий способ затириания, проводимый при высоких температурах.

2.3.2.6. Продолжительность приготовления затора бывает различной. При сухом помоле и его тщательном перемешивании с замочной водой приготовление затора проводится в течение 10-20 мин, после чего проводится собственно затириание.

При мокром дроблении оно совпадает по времени с процессом приготовления затора, занимая в этом случае 35-40 мин, а с учетом продолжительности увлажнения даже более 60 мин.

При предварительном затирании или «настаивании» (в настоящее время этот прием используется довольно редко) между приготовлением затора и продолжением затирания предусматривается 8-12-часовая пауза. Аналогично эффекту, достигаемому при затирании с начальными температурами ниже оптимальных, помол насыщается водой, ферменты переходят в раствор и несмотря на низкие температуры (12-16 °С) начинают расщеплять компоненты набухшего эндосперма. Здесь многое зависит от качества солода, тонкости помола, продолжительности паузы и температуры. Положительный эффект усиливается при недостаточном растворении солода (например, при использовании солода короткого рашения). Не рекомендуется повышать температуру выше 18-20 °С, так как возникает опасность закисания затора. Метод настаивания повышает выход экстракта на 1-2 %, однако увеличение количества растворенных веществ не сказывается положительно на выходе экстракта в варочном цехе, обуславливая появление у светлого пива темного окрашивания и огрубленного, иногда пустого вкуса, а также снижение пеноустойчивости.

2.3.2.7. Основная цель процесса затирания состоит в том, чтобы прямо или косвенно довести затор до температур окончания затирания (74-78 °С). В интервале температур от начала затирания до его окончания действуют все ферменты, влияющие на растворение и расщепление компонентов пивоваренного сырья. Для

их растворения применяют разные способы, в частности:

- а) ферментативно-биологические, направленные на поддержание определенных температур, необходимых для действия основных групп ферментов, или на создание условий, благоприятных для их действия ферментов (изменение значения рН затора или его концентрации);
- б) физические, направленные на соответствующую подготовку пивоваренного сырья путем его дробления или однократного или многократного кипячения компонентов затора. В ходе кипячения происходит разрыв крахмалосодержащих клеток эндосперма и раскрытие зерен крахмала, что облегчает воздействие на него ферментов.

Применение этих способов по отдельности или в их сочетании обуславливает различный состав сусла и пива, а также характер вкуса пива.

Затирание проводят разными способами, при которых определенные части затора отваривают (такие способы называют *декокционными* или *отварочными*) или обрабатывают дробленый солод ферментативным путем (их называют *способами настаивания* или *инфузионными*).

2.3.2.8. Заторные аппараты. Для осуществления различных способов затирания требуются аппараты разной конструкции. При инфузионном способе затирания необходим обогреваемый заторный аппарат (комбинированный чан-котел), изготовленный из стали, меди или нержавеющей стали. Эта емкость имеет круглую, иногда овальную или четырехугольную форму. Плоскоконическое или сводчатое днище такого аппарата должно иметь форму, обеспечивающую беспрепятственное

опорожнение, а боковые стенки и днище должны быть оснащены тепловой изоляцией. Сверху чан закрыт крышкой.

Емкость заторного чана или комбинированного чана-котла рассчитывают следующим образом: 100 кг дробленого солода занимают объем 0,7 гл. Главный налив составляет обычно не более 4 гл (у специальных сортов пива — до 5 гл/100 кг). С учетом запаса в 40% для перемещения затора (2 гл), на 100 кг засыпи общий объем емкости составляет от 6,5 до 7,3 гл.

Большое значение для работы заторного чана имеет месильный орган, от эффективности которой зависит скорость и интенсивность смешивания дробленого солода с водой, а также распределение теплоты при нагревании затора или при добавлении его кипяченой части. При этом месильный орган должен по возможности уменьшать внесение кислорода и противодействовать эффекту сдвига. В круглых емкостях используют лопастный месильный орган, подающий затор вверх по краю емкости, а оттуда — к центру. Его привод, расположенный снизу, должен предусматривать 2-3 скорости вращения или возможность их плавной регулировки. Для заторного чана на 5 т засыпи в конце затирания или при внесении части кипяченого затора необходима скорость 35-40 об/мин, самая медленная скорость для густого затора — 10-12 об/мин, а во время белковых пауз для поддержания контакта фермента с субстратом необходима скорость 20-25 об/мин. Последняя скорость требуется и при нагревании части затора. В современных варочных цехах число оборотов месильного органа в ходе затирания регулируется плавно — при увеличении объема затора в начале затирания она повышается, а в конце затирания с падением уровня затора уменьшается.

В случае четырехугольных или овальных емкостей для придания затору турбулентности необходимы месильные органы особой конструкции. Все они должны иметь конфигурацию, препятствующую подосу воздуха в процессе затирания, что может быть также реализовано подбором скорости вращения месильного органа.

В днище заторного чана предусмотрено выпускное отверстие для затора, которое через насос или (в случае установки заторного чана на возвышении) напрямую соединяется с заторным котлом. Выпускное отверстие закрывается шаровым краном или шибером.

Для равномерного перемешивания дробленых продуктов с водой труба для подачи помолы из бункера вводится в *предзаторник*, где дробленый солод перед подачей в заторный чан смешивается с водой, что препятствует образованию пыли и комков. Необходимо обратить внимание на тщательность очистки предзаторника во избежание закисания смеси. Более простым устройством является «шаровой предзаторник»: у него нижняя часть трубы, подающей помол, омывается тонким слоем воды, что обеспечивает равномерное смачивание помолы.

Для предотвращения комкования и осуществления быстрого затирания по возможности небольшим количеством воды используют так называемые «заторные шнеки». Они представляют собой шнек в трубе, смешивающий дробленый солод с водой в однородную массу на отрезке от бункера к заторной емкости. Это позволяет готовить концентрированный затор (например, с соотношением 1 : 2-2,5). Подача подработанного таким способом затора в заторную емкость производится сверху вдоль стенок или снизу через насос с плавной регулировкой.

Поверхность нагрева комбинированного заторного чана-котла рассчитывают так, чтобы весь затор можно было нагревать со скоростью 1,5 °С/мин.

Заторный котел по сравнению с комбинированным заторным чаном-котлом имеет меньшую вместимость (2/3 объема заторного чана), так как в нем обычно обрабатывают только часть затора. Котел изготавливают из того же материала, что и чан. Форма днища котла зависит от типа обогрева. Поверхность нагрева рассчитывают так, чтобы третью часть всего затора можно было нагревать как минимум на 2 °С/мин. Для котлов обычно достаточно поверхности днища, обогреваемой по полутрубам паром или горячей водой. Для нагревания большого количества затора комбинированные заторные чаны-котлы оборудуют дополнительной обогреваемой рубашкой. Нагревательные поверхности внутри емкостей выполнены в виде плоских трубных элементов. Месильный орган, расположенный соответственно сверху и снизу нагревательного элемента, обеспечивает интенсивное омывание нагревателя затором. В последнее время появились системы обогрева, куда затор загружается насосом с системой плавной регулировки скорости подачи. Такой насос способен перекачивать 10-кратный объем всего затора, что, с одной стороны, обеспечивает щадящий температурный режим теплоносителя, а с другой стороны, гарантирует небольшой перепад температур (3-4 °С) между отводимым и нагретым затором. Нагретый затор поступает в соответствующую заторную емкость под поверхность затора. Месильный орган котла также должен быть оснащен системой плавной регулировки скорости вращения. Для нагревания части затора, как правило, требуется скорость 20-25 об/мин.

Зачастую вместо емкостей разного размера используют два комбинированных чана-котла одинакового объема с очередной загрузкой и выгрузкой затора, что повышает производительность заторной установки.

Трубопроводы подачи затора подходят к емкостям снизу в целях минимизации потребления кислорода. При надлежащей трубной обвязке для начала и проведения затирания, отведения части кипящего затора и выгрузки затора требуется всего один насос, который для выполнения этих задач должен обеспечивать плавную регулировку в широком диапазоне (от 9 до 40 гл./нем. ц · ч).

В простых варочных цехах функции заторного и фильтрационного чана выполняет один и тот же аппарат, а функции заторного котла — сусловарочный котел, в котором следует обеспечить соответствующее разделение поверхностей нагрева.

2.3.2.9. Расход энергии при затирании зависит от объема затора, от начальной температуры затирания, а также от способа затирания. При конвективном нагреве (паром, горячей водой) при начальной температуре затора 52 °С количество тепла в целом составляет: при двухотварочном способе затирания — около 25 500 кДж/гл (6100 ккал), при одноотварочном способе — около 21 000 кДж/гл (5000 ккал), при инфузионном способе — около 15 900 кДж/гл (3800 ккал). С учетом энергии, необходимой для нагревания воды для затирания, дополнительно требуется 16 700 кДж/гл (4000 ккал), однако эту часть энергии обычно покрывают за счет использования отработанного тепла. При использовании специального нагревания воды для затирания следует дополнительно учитывать КПД нагревательного оборудования и т. д.

Кроме того, у аппаратов с непосредственным обогревом необходимо дополнительно учитывать более низкий КПД. Переход с двухотварочного способа затирания к инфузионному дает экономию энергопотребления в варочном цехе 10 % (около 3 % — для всего пивоваренного предприятия).

2.3.3. Способы затирания

2.3.3.1. Наиболее известный способ, являющийся основой большинства остальных способов затирания, — это *трѣхотварочный способ*, до сих пор применяющийся в его изначальной форме в производстве темного пива. В нем предусмотрены следующие операции. После приготовления затора при температуре 35-37 °С для первой отварки отбирают его густую часть (1/3), а 2/3 затора остается в заторном чане. В этой густой части содержится много нерастворимых в воде компонентов дробленого солода, тогда как оставшиеся две трети более жидкие, и в ней компоненты солода растворены лучше. Тем самым содержание ферментов в каждой из двух частей затора различно.

Изменения веществ в оставшейся при температуре 35-37 °С части затора происходят главным образом между фосфатами солода и ионами воды (см. раздел 2.1.3.2). Последующие превращения вызываются микроорганизмами, внесенными с солодом, что проявляется в продуцировании органических кислот и их реакции с ионами воды. Активность ферментов еще незначительна; под действием низких температур в течение 2,5 ч нерастворимые компоненты хорошо пропитываются водой и становятся более доступными для последующего действия ферментов.

Первая отварка имеет густую консистенцию и содержит небольшое количе-

ство жидкости и ферментов; с другой стороны, в ней содержится больше компонентов, требующих растворения и расщепления, которые осуществляются не столько ферментативным, сколько физико-механическим путем. При последующем медленном нагревании затора (1 °С/мин) в течение 1 ч происходит повышение ферментативной активности имеющихся ферментов. При этом нет необходимости ожидать полного осахаривания затора — основная задача ферментов, особенно амилаз, состоит в том, что в их присутствии процессы клейстеризации и разжижения протекают легче и при более низких температурах, что существенно повышает эффективность последующего кипячения.

При кипячении затора крахмалсодержащие клетки эндосперма разрываются, крахмал клейстеризуется и, таким образом, становится доступным для последующего воздействия амилаз. Ферменты, присутствующие в отварке, инактивируются, и именно поэтому отварка, находящаяся в заторном котле, должна быть густой и содержать мало жидкости: потеря ферментов должна быть как можно меньше. Благодаря тому, что жидкая часть затора остается в заторном чане, ферментативная активность в ней сохраняется, в результате чего прокипяченная часть затора после охлаждения ее до оптимальной температуры реакции может легко подвергаться действию ферментов.

Продолжительность кипячения первой густой отварки составляет 30-45 мин для темного солода и 10-20 мин — для светлого. Наряду с необходимым физическим растворением «темного» затора это является основанием для появления типичного вкуса темного пива, который образуется только в результате интенсивного кипячения вследствие растворения

содержащихся в оболочке веществ, карамелизации и других превращений. У «светлых» заторов продолжительность кипячения должна быть ограничена во избежание увеличения цветности.

Густую отварку вновь перекачивают в заторный чан. Поскольку этот затор в течение 2,5 ч не перемешивают, то перед окончанием кипячения, то есть перед перекачиванием густой отварки обратно в заторный чан, его следует перемешивать в течение не менее 10 мин, а во время перекачивания мешалка должна работать во избежание термической инактивации ферментов. В зависимости от производительности месильного органа перекачивание отварки занимает 10-20 мин. При верхнем вводе для обеспечения хорошего и интенсивного перемешивания обеих частей затора она должна поступать в середину заторного чана. При нижнем вводе вследствие незначительного охлаждения отварки требуется меньшее ее количество, перекачиваемое за 5-8 мин.

Весь затор имеет температуру 50-53 °С. Здесь ферменты действуют на еще нерастворенные компоненты уже значительно сильнее, особенно на те, которые перешли в раствор при кипячении затора, и с этого момента постепенно начинается процесс расщепления крахмала. При этих температурах особое значение придается расщеплению белков, превращениям гумми-веществ и фосфатов. В основном заторе, который во время обработки второй отварки оставался в чане, проходит белковая пауза, продолжительность которой составляет около 2 ч (при необходимости ее можно продлить). Здесь большое внимание следует уделить теплоизоляции — в чане необходимо поддерживать требуемую температуру.

Вторая густая отварка, имеющая почти такую же консистенцию, как первая,

составляет 1/3 затора; ее доводят до кипения в течение 35-40 мин и кипятят 30-35 мин (для темного пива) и 10-20 мин — для светлого. После этого вторую густую отварку перекачивают обратно в заторный чан к оставшейся части затора и интенсивно перемешивают так, чтобы во всем заторе установилась температура 62-67 °С, благоприятная для действия амилаз. При этом происходит интенсивное расщепление крахмала, и содержание экстрактивных веществ и Сахаров скачкообразно увеличивается.

Вследствие этого для *третьей отварки* отбирается не густая, а *лишь жидкая, отстоявшаяся часть затора*, богатая ферментами. Доля дробины, которая не нуждается в дальнейшем расщеплении, относительно невелика, и поэтому жидкая часть затора доводится до кипения в течение примерно 20-25 мин и кипятится для темного пива 25 мин, а для светлого — 10-20 мин. Иногда продолжительность кипячения жидкой части затора увеличивают до 1 ч, добываясь тем самым увеличения паузы для осахаривания той части затора, которая осталась в заторном чане. Объем третьей отварки (1/3-1/2 всего затора) подбирают так, чтобы обеспечить температуру окончания затираания в 76-78 °С. К этому моменту весь затор уже должен характеризоваться нормальным йодным окрашиванием. При более высоких температурах окончания затираания существует риск того, что α -амилаза инактивируется быстрее, чем произойдет нормальное йодное окрашивание затора.

Главной целью использования в качестве третьей отварки жидкой части затора является предотвращение слишком глубокого ферментативного расщепления, что позволит получить пиво с четким вкусом и хорошей пеностойкостью.

Благодаря многократному кипячению ферментативное расщепление проходит достаточно глубоко, и тем самым отпадает необходимость в дальнейшей интенсивной деятельности ферментов.

Продолжительность трехотварочного способа затирания при переработке бедного ферментами темного солода составляет около 5,5 ч. У светлого хорошо растворенного солода может происходить слишком глубокое расщепление различных групп веществ. Осуществлять корректировку процесса ферментативного расщепления, например, в сторону повышения температур расщепления белка или осахаривания, позволяют варианты, основанные на изменении объемов первой и второй густой отварки. Отварки затора, рассчитанные без запаса, сокращение продолжительности белковых пауз для них, быстрое нагревание и сокращение кипячения позволяют сократить продолжительность затирания почти до 4 ч. Использование остаточного затора по трехотварочному способу (по принятой ранее технологии приготовления пива *Pilsener*) предусматривает отбор большего объема затора, чем это требуется для достижения у всего затора необходимой температуры. Избыточная часть отварки остается в заторном котле, куда подается отобранный из чана затор для проведения следующей отварки. В результате часть ферментов инактивируется, ограничивается расщепление белков и образуется больше несбраживаемых веществ. Достижимый эффект зависит от величины «остатка» и от того, из какой отварки берется остаток (в большинстве случаев — из второй, что позволяет влиять на расщепление крахмала).

Трехотварочный способ требует довольно много времени (5,5 ч) и энергии. Он с трудом вписывается в современную

жесткую последовательность варок. Помол здесь имеет второстепенное значение, так как интенсивная обработка гарантирует хорошее растворение солода крупного помола. Потери нерастворенного крахмала с дробинкой не должны превышать 0,5-0,6%. Потери экстракта зависят от способа промывки дробинки.

2.3.3.2. Двухотварочный способ затирания отличается от трехотварочного тем, что одна из трех отварок опускается, благодаря чему появляется больше возможностей приспособить его к особенностям различных типов солода и пива.

Начало затирания проводят при температуре 50 °С; при этой температуре проводят белковую паузу, продолжительность которой в зависимости от степени растворения солода составляет 10-20 мин. Объем *первой густой отварки* (1 : 2) составляет 30-33 % объема всего затора; осахаривание этой части затора осуществляют при температуре 68-72 °С до получения нормального йодного окрашивания затора, после чего обычно проводят ее кипячение в течение 20 мин, перекачивают в основной затор и доводят его температуру до 65 °С.

Вторую отварку (в виде густой отварки 1 : 2 или в консистенции, соответствующей нормальному затору, то есть 1 : 4) также осахаривают при температуре 68-72 °С до получения нормального йодного окрашивания. После кипячения в течение 15 мин ее перекачивают обратно в заторный чан, после чего температура всего затора устанавливается на уровне 76-78 °С.

Расщепление белков можно регулировать выбором начальной температуры затирания (45-55 °С) и продолжительности белковой паузы. Конечная степень сбраживания фиксируется уровнем температуры

всего затора (62-68 °С), причем наибольшие ее значения достигаются при температуре 62-65 °С. Кроме того, на конечную степень сбраживания оказывают влияние выдержка всего затора при указанных температурах и температура осахаривания второй отварки, тогда как температура осахаривания первой отварки на конечную степень сбраживания влияния не оказывает. Небольшая разность температур между первой и второй отварками улучшает растворение азота, способствуя образованию низкомолекулярных продуктов и повышая буферность. В зависимости от типа пива продолжительность кипячения составляет от 10 до 25 мин, а продолжительность затирания с учетом различных факторов — 3-4 ч. При использовании хорошо растворенного солода получается хороший выход, а пиво характеризуется полнотой и округлостью вкуса и хорошими пенообразующими свойствами.

Существенная интенсификация двухотварочного способа затирания достигается в том случае, если начинать затирание при температуре 35-37 °С, а затем за 10-20 мин поднять температуру до 50 °С. После короткой белковой паузы при 50-52 °С первую густую отварку перекачивают в заторный котел, а дальнейший ход технологического процесса описан выше. Благодаря уже описанным выше процессам при температуре 35 °С (например, благодаря растворению компонентов эндосперма и переходу ферментов в растворимое состояние) этот метод позволяет добиться более глубокого растворения азотсодержащих веществ, в первую очередь, увеличения содержания аминокислот азота, а также повышения конечной степени сбраживания. Стимулируется также процесс расщепления гумми-веществ. Данный способ подходит для

переработки плохо растворенного солода, причем продолжительность затирания увеличивается на 15-30 мин. Пиво, полученное таким способом, имеет несколько более «острый» вкус с длительным послевкусием, чем пиво, полученное обычным двухотварочным способом.

Еще одна разновидность *двухотварочного способа затирания* также предусматривает смешивание дробленых зернопродуктов с водой (начало затирания) при температуре 35-37 °С. В этом случае сразу же осуществляют разделение затора, причем в первой отварке, объем которой составляет 60-65 % всего объема затора, содержится при концентрации 1 : 2,7 основная (густая) часть твердых веществ. Остальная часть затора остается в заторном чане при температуре 35 °С. Так как объем первой отварки довольно велик, для обеспечения необходимой степени растворения белков требуется проведение белковой паузы в течение 10-20 мин. После осахаривания и кипячения первой отварки ее перекачивают обратно в заторный чан, в котором устанавливается температура 62-68 °С. При необходимости обратную перекачку отварки можно на 5-10 мин прервать при температуре 50-52 °С, проведя тем самым короткую белковую паузу для затора, оставшегося в заторном чане и включающего половину прокипяченной отварки, после чего его температура доводится с остатком первой отварки до указанных выше значений. Вторую отварку перерабатывают как обычно. Такой способ затирания позволяет наряду с целенаправленным расщеплением белков и крахмала добиться повышения содержания β-глюканов и высокого выхода экстракта. Большой объем первой отварки благодаря его кипячению в течение 30 мин способствует получению плотного пива с полным вкусом.

Его используют в основном в производстве интенсивно окрашенных сортов лагерного, а также пива *Maerzen* («мартовского»). Общая продолжительность затирания составляет 3-4 ч.

Третий тип двухотварочного способа затирания основан на том, что третью отварку не проводят, а температуру всего затора постепенно повышают с 65 °С до температуры, при которой затор подается на фильтрацию. Затирание начинают с температуры 35-37 °С, при этой же температуре отбирают первую отварку (примерно одна треть всего затора), которую после осахаривания и кипячения перекачивают к основному затору, в котором устанавливается температура 50-52 °С. После возвращения второй отварки (объем которой также составляет 1/3 всего объема затора) температуру затора повышают до 62-65 °С. После короткой паузы для получения определенной конечной степени сбраживания температуру всего затора доводят для полного осахаривания до 70 °С, а затем до температуры, при которой затор поступает на фильтрацию. При таком ведении затирания расщепление белков и β-глюканов протекает очень сильно, а короткие паузы для расщепления крахмала в конце процесса затирания хотя и оказывают хорошее воздействие на конечную степень сбраживания, приводят к некоторому увеличению продолжительности затирания (примерно на 30 мин) по сравнению с другими двухотварочными способами. Данный способ чаще применяется для приготовления пива с более ярко выраженным вкусом.

2.33.3. Основой для *одноотварочного способа затирания* также служит трехотварочный способ, однако в данном случае для получения возможности выдерживать

все требуемые температурные паузы необходимо постоянно комбинировать декокционный и инфузионный способы затирания.

Вариант 1: настаивание перед перекачиванием отварки в заторный котел. Смешивание воды с дробленными зернопродуктами проводят при температуре 35-37 °С, после этого затор в течение 20 мин нагревают до 50 °С и выдерживают при этой температуре 15-30 мин (в зависимости от степени растворения солода). Затем температуру в течение 15 мин доводят до 65 °С и выдерживают затор при этой температуре в течение 30 мин. Эта пауза важна для улучшения вкуса пива. Оставшуюся после осаждения твердых частиц жидкую часть затора перекачивают в предварительно хорошо прогретый заторный чан, в то время как густой затор, объем которого составляет около 50 % объема всего затора, остается в котле. Густую часть затора после полного осахаривания при температуре 68-72 °С и кипячения в течение 15-30 мин перекачивают к основному затору, в котором устанавливается температура перекачивания на фильтрацию.

Можно также отобрать основной затор после осахаривания при температуре 70 °С, но в этом случае возникает риск того, что активность уже ослабленных при этом амилаз окажется недостаточной для полного осахаривания значительных количеств крахмала, перешедших в раствор при кипячении отварки. Продолжительность затирания при этом способе составляет 3-3,5 ч, но ее можно сократить при переработке очень хорошо растворенного солода, начиная затирание при более высоких температурах. Варьирование продолжительности температурных пауз в сочетании с разной длительностью кипячения позволяют

получать сусло для различных типов пива.

Вариант 2: настаивание после возвращения отварки к основному затору. При переработке хорошо растворенного солода затирание начинают при температуре 50-55 °С и после белковой паузы в течение 10-15 мин отварку отделяют (объем отделяемой отварки составляет 30-40 %). После осахаривания и кипячения ее возвращают к основному затору, в котором устанавливается температура 65-78 °С, а затем после полного осахаривания весь затор нагревают до температуры 77 °С, при которой он направляется на фильтрацию. Данный способ подходит для светлого «эlegantного» пива, однако вследствие небольшого объема отварки конечная степень сбраживания может оказаться слишком низкой. Постоянного контроля требует также выход экстракта. С учетом общей продолжительности затирания (около 3 ч) иногда используют более низкую температуру подготовки затора.

Вариант 3: настаивание оставшейся части затора. Затирание проводят аналогично варианту 2, однако после белковой паузы оставшуюся часть затора нагревают до температуры 62 °С и оставляют в чане до перекачки отварки, с помощью которой достигается температура, при которой весь затор перекачивается на фильтрацию. Для очень хорошо растворенного солода при известных условиях может потребоваться температура подготовки затора 65 или даже 67 °С. В данном случае обработке подвергают только отварку, с помощью которой весь затор доводят до температуры направления на фильтрование. В этом случае очень большое значение придается гомогенности солода и контролю состава сусла.

Вариант 4: способ затирания в заторном котле. Кипячению подвергается весь

затор, который затем охлаждается до температуры, благоприятной для протекания процессов расщепления. В данном случае благодаря ферментативной вытяжке, отобранной при низких температурах («холодному отстою»), происходит целенаправленное действие ферментов. Обычно этот способ предусматривает температуру начала затирания 35 °С (реже — 50 °С). После 10-15 мин отстаивания отбирают ферментативную вытяжку в количестве 10% от всего объема затора. Сам затор кипятят с соблюдением ферментативных пауз (при 50, 60 и 70 °С). После кипячения в течение 20-40 мин затор охлаждают (как правило, до 65-70 °С) с помощью встроенного в котел охлаждающего змеевика или добавлением холодной воды. После этого в него добавляют «холодный отстой», затем при выдержке при 65 и 70 °С загор осахаривается, и его нагревают до температуры, при которой затор перекачивается на фильтрацию. Такой способ затирания, занимающий в зависимости от продолжительности пауз 3,5-4,5 ч, позволяет добиться полного растворения крахмала и высокого выхода экстракта.

Еще одним вариантом затирания в заторном котле является *способ затирания солода по Шмитцу*, при котором весь затор кипятят и затем не охлаждают, а фильтруют при температуре кипения и промывают. Стекающее сусло, содержащее клейстерную мусть, как и промывные воды, перед подачей в сушварочный котел должно охлаждаться в теплообменнике и доосахариваться с помощью «холодного отстоя». Доосахаривание должно продолжаться до тех пор, пока последняя промывная вода не даст нормальную йодную реакцию, то есть все сусло можно затем разогревать для кипячения с хмелем только после окончания фильтрования

и отсутствия йодной реакции. Тем самым выигрыш во времени, полученный за счет ускорения фильтрования затора при температуре 90-95 °С, сводится на нет. Выход экстракта при затирании этим способом несколько выше, поскольку можно использовать более тонкий помол солода. Для современных фильтрационных чанов необходимость использования подобных мер становится излишней, так как данный способ является не только энергоемким, но и приводит в большинстве случаев к получению более темного пива с размытым вкусом.

2.3.3.4. Способ затирания с очень короткими отварками применяется для очень хорошо растворенного солода, богатого ферментами, и может осуществляться в виде одно- и двухотварочного способа, хотя исходной формой является двухотварочный способ затирания. Благодаря температуре приготовления затора в 62 °С расщепление белка регулируется так, чтобы при этой температуре относительно быстро инактивировать растворимые протеазы. Эти протеазы за короткое время обеспечивают интенсивное расщепление белка, и содержание общего азота в сусле всего на 5-7 % ниже, чем в сусле, полученном обычным двухотварочным способом. Содержание высокомолекулярного азота в сусле и пиве при затирании с очень короткими отварками повышается. Глюканызы при температуре 62 °С проявляют активность лишь недолго, и в результате содержание гумми-веществ по сравнению с их содержанием в солоде меняется незначительно. При использовании умеренно растворенного солода в определенных условиях могут появиться трудности с фильтрованием. Расщепление фитина протекает в меньшей степени, буферность затора уменьшается,

что ведет к снижению значения pH пива. Действие амилаз при затирании с очень короткими отварками до некоторой степени усиливается, но при условии, что растворение веществ солода идет быстрее процесса инактивации β -амилазы.

После подготовки затора при температуре 62 °С и короткой паузы (10-15 мин) отварку (объемом 0,2-0,25 % всего затора) доводят до кипения с паузой для осаживания, кипятят 5-10 мин и перекачивают обратно к основному затору, температура которого повышается до 68-72 °С. После выдержки всего затора при этой температуре около 30 мин вторую отварку (объемом 0,2-0,25 %) доводят до кипения и через 5-10 мин кипячения перекачивают к основному затору, температура которого повышается до 76-78 °С. Продолжительность затирания по этому способу составляет 2-2,5 ч. В результате можно получить пиво с приятным вкусом, если перерабатываемый солод был хорошего качества (степень растворения белка — около 40%, разница экстрактов солода грубого и тонкого помолов — не более 1,8 %, число Гартонга VZ 45 °С — более 38 %). При использовании слабо-растворенного солода можно либо выдержать паузу при 62 °С, либо начать затирание с температуры 50 °С с последующим нагревом до 62 °С. Тем самым можно улучшить аналитические и вкусовые показатели пива. Если конечная степень сбраживания получается слишком высокой, то ее корректируют некоторым снижением температуры подготовки затора (примерно до 58 °С). Двухотварочный способ затирания всегда благоприятнее, чем одноотварочный, так как температурные паузы при двухотварочном способе короче и, тем самым, эффективнее. Способ затирания с очень короткими отварками всегда требует тщательного

проведения дробления, иначе уменьшается выход экстракта.

2.3.3.5. Способ затириания солода со скачкообразным повышением температуры отварок основан на использовании остатков отварки, обычно с температурой кипения, в которую перекачивается следующая отварка или даже остаток всего затора с целью «проскочить» оптимальные температуры и тем самым ограничить расщепление определенных групп веществ. Такой способ применяется также для снижения конечной степени сбраживания при производстве безалкогольного или слабоалкогольного пива.

Начинают затириание с густой засыпи солода (1:2) при температуре 45-50 °С, лучше всего при помощи предзаторного шнека. После выдержки в течение 35-40 мин в затор быстро закачивают кипящую воду (2,5 гл/нем. ц засыпи), достигая таким способом снижения температуры со 100 до 73-73,5 °С. После паузы (40-60 мин) отварку нагревают до 77 °С и перекачивают в основной затор. Низкая температура начала затириания обеспечивает достаточное содержание свободного α -аминного азота, а также основных веществ. Получаемая при этом кажущаяся конечная степень сбраживания составляет 65-70 %, действительная — 53-57 %. При затириании со скачкообразным нагревом отварок необходимо постоянно вести контроль осахаривания (по йодному окрашиванию).

2.3.3.6. Настойные (инфузионные) способы затириания солода способствуют растворению и расщеплению веществ солода только благодаря действию присутствующих в солоде ферментов, так как второе средство механического воздействия (кипячение) не применяется. Для достижения

определенного баланса ферментативное расщепление необходимо оптимизировать. При переходе от двухотварочного способа затириания с температурой подготовки затора 50 °С к настойному (инфузионному) способу представляется целесообразным начинать затириание при температуре 35-37 °С, повышая затем температуру со скоростью 1 °С/мин до 50-52 °С. Белковую паузу проводят в течение 20-30 мин в зависимости от содержания свободного α -аминного азота. Повышение температуры до 62 °С также проводится со скоростью 1 °С/мин. Мальтозная пауза направлена на улучшение действия амилаз и проводится в два приема — соответственно 20-30 мин при 62 °С и 20-30 мин при 65 °С. Для выбора продолжительности паузы определяющее значение имеет конечная степень сбраживания и йодное число. Выдержка при температуре осахаривания 70-72 °С продолжается и после достижения нормальной окрашенности затора по йоду, занимая в общей сложности около 60 мин. При этом растворяются и гликопротеиды (см. раздел 2.3.1.2), влияющие на цеинообразование. Затем затор нагревают до температуры, при которой его перекачивают на фильтрацию (75-77 °С). При способе затириания с очень короткими отварками при условии очень хорошо и равномерно растворенного солода существует соблазн предельно сократить продолжительность затириания, причем ради лучшего расщепления крахмала начало затириания проводят при 55-58 или 60 °С, а ступенчатую мальтозную паузу — при 62 и 65 °С. Выдержка при температуре осахаривания (70-72 °С) длится около 60 мин. По сравнению с декокционным способом затириания при этом достигается довольно значительная экономия времени, так как паузы для оставшейся

части затора, диктуемые обработкой отварки, заменяются целенаправленным регулированием температуры затора, полученного настойным способом. Следует также учитывать, что при длительных белковых или мальтозных паузах активность ферментов и без того ослабевает вследствие действия механизмов обратной связи и инактивации. Для достижения оптимального контакта ферментов с субстратом месильный орган должен работать и во время длительных пауз (на пониженной на треть скорости вращения). Для слаборастворенного солода затирание следует начинать при температурах ниже оптимальных для действия ферментов, выдерживая отдельные паузы для стимулирования расщепления β-глюкана и крахмала в соответствии с требуемыми аналитическими показателями сусла. При условии соблюдения этих требований выход экстракта не снижается, но степень расщепления крахмала следует контролировать по йодному числу и растворимому экстракту дробины. Получаемое пиво может иметь несколько более мягкий, нейтральный вкус, что компенсируется при необходимости внесением карамельного солода (цветностью около 25 ед. ЕВС). Существовавшие прежде опасения по поводу слишком глубокого расщепления крахмала большим остаточным количеством α-амилазы не подтвердились — необходимо лишь следить за тем, чтобы в емкости для фильтрованного пивного сусла поддерживалась температура 75-77 °С. Для современных систем интенсивного кипячения сусла повышенное содержание коагулируемого азота (в результате отсутствия стадии кипячения затора) никаких проблем не создает, лишь слегка увеличиваются потери горьких веществ.

Инфузионные (настойные) способы затирания позволяют также экономить энергию (в зависимости от числа отварок и продолжительности их кипячения).

Настойное затирание солода с понижающейся температурой затора состоит в том, что дробленый солод, смешанный с водой в интенсивно работающем предзаторнике, подают в горячую воду с температурой около 75 °С, в результате чего в процессе затирания температура снижается примерно до 65 °С. В этом случае осахаривание и расщепление белка начинается при более высокой температуре и тем самым действие α-амилазы усиливается, а остальных ферментов ослабляется. Такой способ используется для переработки очень сильно растворенного солода и получения определенных типов пива (в частности, пива верхового брожения, например, эля).

2.3.3.7. Способ затирания с разделением помолы на фракции предусматривает отдельную обработку различных фракций помолы в зависимости от содержания в них ферментов, их твердости и растворимости. Прежде всего, следует избегать кипячения оболочек вместе с затором, чтобы не допустить выщелачивания дубильных веществ, горьких веществ оболочек и гуминовых веществ. Мука и тонкая крупка из хорошо растворенных частей зерна экстрагируются только ферментативным путем, а грубая крупка, которая по своей структуре больше соответствует несоложеному сырью, подвергается при кипячении физическому растворению. Предпосылкой для использования данного метода является наличие пяти- или шестивальцовой дробилки, в которой отдельные фракции после дробления разделяются.

Типичный способ затирания с разделением помола на фракции начинается с приготовления затора из грубой крупки, который после белковой паузы и паузы для осахаривания интенсивно кипятят в течение 30-60 мин. В это время в заторном чане приготавливают затор из оболочек, причем температуру выбирают так, чтобы после добавления отварки из грубой крупки температура затора составила 72-75 °С. Затем к этому затору добавляют муку и тонкую крупку. После осахаривания растворенных при кипячении и добавленных позже компонентов затор нагревают до температуры перекачивания на фильтрацию. Этот способ позволяет хорошо регулировать условия осахаривания, однако вследствие последующего внесения оболочек существует риск неполного расщепления гумми-веществ, высокомолекулярных белков и остатков крахмала, следствием чего является неудовлетворительный состав сусла и тем самым трудности в дальнейшем ходе процесса приготовления пива, а также неудовлетворительное качество готового пива (прежде всего, его вкус и стабильность).

Зачастую *отделение оболочек* проводят в рамках обычного декокционного способа так, чтобы оболочки попали в затор в определенный момент времени, когда они уже не будут подвергаться кипячению. Таким способом можно исключить кипячение оболочек, но если внесение оболочек осуществляют при двухотварочном способе затирания или при очень коротких отварках при температуре лишь 65-70 °С, то в случае недостаточного измельчения оболочек существует риск снижения выхода экстракта, конечной степени сбраживания и в общем ухудшения сбраживаемости сусла. При ошибках в ходе внесения первое

сусло и промывные воды уже не будут характеризоваться нормальным йодным окрашиванием, и наоборот, в благоприятном случае пиво может приобрести мягкий, нежный вкус при цветности 0,5-0,8 ед. ЕВС. Для надежности оболочки часто добавляют к оставшейся части затора после отбора первой отварки или затирают в отдельной емкости при 50-60 °С, чтобы затем в подходящий момент, то есть после отбора второй отварки, перекачать оболочки в заторный чан. При этом следует учитывать необходимое количество добавляемой воды при расчете главного налива (см. раздел 2.3.2).

Улучшение технологии дробления благодаря кондиционированию или непрерывному замачиванию, широкое внедрение настоянных способов затирания солода делает отделение оболочек излишним. Вместе с тем из-за продолжающейся дифференциации типов и сортов пива данный способ может применяться, например, для получения особо «мягкого» пива.

2.3.3.8. Способы затирания солода под давлением, в которых для улучшения растворения частиц крахмала предусматривается кипячение затора под давлением, себя не оправдали. Такое кажущееся более полное использование сырья приводит к получению пива с очень резким неопределенным вкусом. Для применения этого и аналогичных способов (например, для кипячения под давлением уже выщелоченной дробины и использования полученного продукта для затирания следующей варки) требуется котел с избыточным давлением около 3 бар (желательно с полусферическим обогреваемым днищем). Нагрев затора может также осуществляться с помощью змеевика, который при необходимости можно использовать и для охлаждения содержимого

котла. Существенное улучшение существующих технологий варочного производства сделало такие способы излишними.

2.3.3.9. Переработка несоложенного сырья. Несоложенное сырье — кукуруза, рис или несоложенный ячмень — содержит все компоненты эндосперма в их нативной форме. Поскольку они не были растворены в процессе солодоращения, не происходило образования или активизации ферментов, для обеспечения, как минимум, удовлетворительного превращения крахмала и по возможности полного использования экстракта несоложенного сырья должно подвергаться предварительной обработке (растворению). Такую обработку осуществляют путем кипячения несоложенного сырья (иногда под давлением), благодаря которому крахмал клейстеризуется и впоследствии легче осахаривается.

Чтобы провести это растворение наилучшим образом, необходимо сильное измельчение сырья. Если рис и кукуруза в виде хлопьев, тонкой крупки или муки не требуют дальнейшей подготовки, то наиболее часто используемая в пивоварении грубая крупка и рисовая сечка должны быть дополнительно измельчены.

Так как в кукурузе и рисе отсутствуют оболочки, можно использовать более грубый кондиционированный помол солода. При этом заслуживает внимания тот факт, что несоложеное сырье «разбавляет» гумми-вещества солода и, таким образом, хороший помол и полное расщепление крахмала не вызовут затруднений при фильтровании. Солод из многорядного ячменя увеличивает содержание оболочек в заторе и при высокой доле несоложенного сырья (около 40%) обеспечивает повышенное содержание в заторе

и сусле ферментов и свободного α -аминного азота.

Кроме того, важно обеспечить растворение несоложенного сырья с помощью ферментативных процессов. Под действием ферментов несоложеное зерно разжижается с моментальным растворением клейстеризованных слоев. Именно поэтому в процессе растворения к несоложенному сырью добавляют солод, способствующий получению жидкого затора и препятствующий пригоранию вязкого затора из несоложенного сырья.

Присутствие амилаз солода понижает температуру клейстеризации крахмала примерно на 20 °С, благодаря чему клейстеризация может проходить еще в области температур осахаривания (за некоторыми исключениями).

Для растворения несоложенного сырья требуется довольно много воды (1 : 4-5), в связи с чем затор из солода делают более густым (1 : 2,5-3), чтобы после соединения обоих заторов получалась нормальная концентрация сухих веществ в первом сусле.

Контроль растворения несоложенного сырья осуществляется по йодной пробе. После перекачивания затора из несоложенного сырья весь затор должен осахариваться быстро и полностью — в противном случае для получения нормального йодного окрашивания затора температуры осахаривания повышают до 75 °С.

Для кипячения несоложенного сырья под давлением требуется соответствующий герметичный котел. Для крупной крупки применяется давление до 3 бар (как правило, 1 бар). Преимущество этого метода состоит в том, что снижается количество солода, добавляемого к затору из несоложенного сырья, и, кроме того, у риса возникает меньше проблем при клейстеризации и разжижении (см. раздел 2.1.2.2).

Увеличение доли солода при кипячении под давлением (1:1) может негативно повлиять на вкусовые свойства пива; это же относится к крупке с высоким содержанием жиров, образующих в результате омыления жирные кислоты, ухудшающие пенообразующие свойства.

Разные виды несоложенного сырья, способы их переработки и разные доли внесения делают необходимым применение различных способов затирания. Кукуруза легче поддается обработке, чем рис, так как в большинстве случаев у нее ниже температура клейстеризации. Заранее подготовленные продукты, например, хлопья или чистый кукурузный крахмал, как и *небольшие доли несоложенного сырья* (до 15 %), в дополнительной обработке не нуждаются. Их добавляют в первую отварку, и после ее кипячения и перекачки к основному затору при температуре 67-70 °С они полностью осаживаются. Возможно также раздельное добавление несоложенного сырья к первой и второй отварке.

В случае *повышенной доли несоложенного сырья* необходимо провести отдельное затирание несоложенного сырья. Если его доля (например, кукурузы) составляет 20 %, то отдельное затирание проходит по следующей схеме. При засыпи в 3000 кг задают 600 кг кукурузы. Для приготовления затора в заторном котле 600 кг кукурузы и 600 кг солода смешивают без образования комков при температуре 35 °С с 50 гл воды, получая общий объем 54 гл. После выдержки и последующих ферментативных пауз при температуре 50 и 70-75 °С затор кипятят в течение 30 мин. Оставшуюся часть засыпи солода (1800 кг) затирают с 54 гл воды при температуре 50 °С с таким расчетом, чтобы выдержать необходимую для действия протеаз солода белковую паузу.

Общий объем солодового затора составляет в данном случае 66 гл. Прокипяченный затор перекачивается в заторный чан, после чего температура всего затора повышается до 65-70 °С. Объем всего затора увеличивается в результате до 120 гл в соответствии с концентрацией первого сусла 17-17,5 %. После этого либо ждут, пока затор полностью осаживается, после чего его нагревают до температуры перекачивания на фильтрование, либо проводят вторую отварку (как при обычном двухотварочном способе затирания). Если солодовый затор при перекачивании отварки из несоложенного сырья имел температуру всего 35-37 °С, то можно применить и трехотварочный способ затирания.

Некоторые сорта риса даже при добавлении солода не полностью клейстеризуются при температуре 78 °С, и во избежание трудностей подготовку несоложенного риса проводят следующим образом.

Рис с добавлением 3-5% солода затирают при температуре 70 °С, нагревают до 88-90 °С, оставляют на 10-15 мин для клейстеризации, после чего вносят такое количество солодового затора с температурой 30-40 °С, чтобы в результате получить температуру 78 °С. Внесенный солод разжижает клейстер за 5-10 мин, после чего его перекачивают в уже разделенный до этого момента солодовый затор. В этом случае применяют одно-, двух- и трехотварочный способы затирания (при трехотварочном способе лучше протекает расщепление нативного крахмала). Пиво, полученное этими способами, более «резкое», но характеризуется большей округленностью вкуса, чем пиво, в приготовлении которого использовалось только кипячение несоложенного сырья или только затор, полученный настольным способом. Пиво, приготовленное

по настойному способу затирания, при известных условиях может отличаться несколько грубым, несбалансированным характером.

Солодовый затор или общий затор должны иметь значение рН около 5,5. Для затора из несоложеного сырья допускается значение рН 5,7-5,8, так как в данном случае слишком низкое значение рН препятствует клейстеризации и разжижению.

Для переработки несоложеного сырья *качество используемого солода* играет такую же, если не более важную роль, как и при варке суслу из чистого солода. Солод позволяет не только компенсировать отсутствие в несоложенном сырье амилолитической активности, но и очень низкую растворимость белковых веществ, содержащихся в несоложенном сырье. Это позволяет обеспечить достаточное снабжение дрожжей ассимилируемым азотом. Таким образом, для переработки несоложеного сырья требуется хорошо растворимый солод, богатый ферментами. Благодаря повышенному содержанию оболочек и ферментативному потенциалу зачастую используют солод из богатого белком многорядного ячменя. При высокой доле несоложенного сырья солод может составлять 30-60 %.

При достаточной ферментативной активности солода возможна *переработка несоложеного ячменя* в количестве 10-15 %. При этом применяются более длительные белковые паузы, так как из ячменя в затор переходит всего 10-15 % растворимого азота. Гумми-вещества ячменя по сравнению с гумми-веществами солода короткого рашения расщепляются в меньшей степени. После предшествующей клейстеризации осахаривание проходит успешнее, в связи с чем следует применять или двухотварочный способ

затирания, или после возвращения отварки в затор выдержать паузу при температуре 70-72 °С. При переработке ячменя предпочтение отдают мокрому помолу.

Повышенное количество ячменя (порядка 20-50 %) перерабатывают с внесением ферментных препаратов. Как правило, используются обычный одно- или двухотварочный способ затирания, а несоложеное сырье вносят вместе с ферментным препаратом. Наряду с фиксированной протеолитической и амилолитической активностью данного препарата, в нем содержатся и эндо-β-глюканазы, менее восприимчивые к температуре, чем эндо-β-глюканазы солода. Таким образом, содержание гумми-веществ не должно представлять каких-либо трудностей при последующей переработке. Используются также смеси из 40 % ячменя, 30 % кукурузы и 30 % солода в сочетании с внесением ферментных препаратов (в количестве 0,03-0,1 % от массы несоложеного сырья в зависимости от препарата). Этого количества достаточно, чтобы обеспечить хорошее растворение белка и снабжение суслу аминокислотами, а также для полного расщепления крахмала. Грубую горечь, часто характерную для «ячменного пива», можно уменьшить путем снижения значения рН затора до 5,4, а при кипячении суслу — до 4,9. Некоторое улучшение дает также добавление танинов (3-5 г/г) при кипячении суслу.

2.3.4. Некоторые проблемы при затирании

2.3.4.1. При применении мокрого помола (см. раздел 2.2.2.7) продолжительность приготовления затора увеличивается на время, которое занимает дробление

(30-40 мин). Целесообразным представляется сначала подавать часть дробленых зернопродуктов для отварки в заторный котел, а затем дробить солод для основного затора в заторный чан. Это позволяет сэкономить время и дает возможность влиять на действие ферментов в ходе начальной фазы затирания.

2.3.4.2. Получение и добавление солодовой вытяжки. При одноотварочном способе затирания, особенно при использовании отделения оболочек и относительно позднем их внесении, применение солодовой вытяжки дает определенные преимущества. Её отбирают обычно к моменту кипячения первой отварки из основного затора, отстоявшегося в заторном чане и осветлившегося в верхней части, при температуре 50-62 °С, охлаждают и вносят в него после перекачивания последней прокипяченной отварки. Объем солодовой вытяжки составляет лишь 0,5 % от объема всего затора, благодаря чему гарантированно получается затор с нормальным йодным окрашиванием и исключается снижение конечной степени сбраживания.

2.3.4.3. Применение последней промывной воды, воды после прессования дробины, «сбрасываемого пива» и отстоя взвесей хмеля. При варке более плотных сортов пива или в случае применения фильтр-чанов, работающих не с полной производительностью, иногда используют последнюю промывную воду, однако недостатками такой технологии являются замедление осахаривания затора, повышение содержания в сусле и пиве дубильных веществ и антоцианогенов, более темный цвет пива, а также его «размытый» и резкий вкус. Эти недостатки устраняют путем обработки последней

промывной воды активированным углем (из расчета 50 г/гл).

Вода после прессования дробины при фильтровании в фильтр-чане образуется в небольшом количестве, а при фильтровании с помощью стрейнмастера ее образуется довольно много. Такая вода не только мутная, но и содержит много сухих веществ, например, нерастворенный крахмал, пентозаны и липиды. Чтобы избежать их отрицательного влияния на вкус и стабильность пива необходимо осветление в декантере или обработка активированным углем (из расчета 100 г/гл).

Аналогичные проблемы возникают при использовании сбрасываемого пива (с фильтров). Чтобы предотвратить ухудшение качества пива необходима обработка активированным углем (50 г/гл).

В отличие от вышеизложенного добавление смеси хмелевой дробины и промывной воды при приготовлении затора или при перекачивании отварки к основному затору не создает никаких проблем. Несмотря на высокое содержание полифенолов продолжительность осахаривания не увеличивается.

Как бы то ни было, оптимизируя технологию отдельных производственных стадий, лучше вообще не допускать образования экстрактсодержащих отходов.

2.3.5. Контроль процесса затирания

Затирание имеет решающее значение для последующих процессов приготовления пива и оказывает большое влияние на состав сусла и свойства пива. Контроль отдельных операций процесса затирания поэтому необходим (особенно на полу- или полностью автоматизированных аппаратах) и включает проверку работо-

способности приборов КИПиА и аналитическую оценку состава сусла с визуальным контролем отдельных стадий процесса затирания.

2.3.5.1. Контроль температуры лучше всего осуществлять с помощью регистрирующих термометров, которые фиксируют температуру частей затора в котле и заторном чане. При этом требуется проверка диаграмм температур затора по шаблонам, а также контроль этих значений с помощью тарированных обычных термометров.

2.3.5.2. Контроль количества затора и отварок необходим для обеспечения однородности превращения веществ. Кроме того, необходимо проверять количественные показатели мойки и ополаскивания. Контроль превращения веществ при затирании проводить довольно трудно и, несмотря на дорогостоящие методы анализа, он достаточно несовершенен.

2.3.5.3. Контроль значений pH затора дает представление об эффективности водоподготовки и биологического гидрокисления в ходе опытных варок, при осахаривании и перекачке затора, при смене партий солода и т. д. Важно также контролировать значение pH промывной воды и воды для ополаскивания при мойке.

2.3.5.4. Расщепление белков можно оценить эмпирически по ряду признаков: так, затор в фильтр-чане должен быстро осаждаться и иметь черное зеркало, горячее охмеленное сусло при наличии крупных взвесей должно иметь «огненно-яркую» окраску, а пробы, отобранные из созревшего пива, готового к перекачке, должны быстро и полностью осветляться. Важными аналитическими показателями

при этом являются число Кольбаха (более 105), содержание общего азота в горячем охмеленном сусле, остаточное содержание коагулируемого азота, доля высокомолекулярных фракций (более 20 %) и содержание формольного или α -аминного азота (свыше 33 и 22 % от общего азота соответственно). Вместе с тем реальное представление о расщеплении белков можно получить лишь на основании текущего контроля этих параметров.

2.3.5.5. Расщепление крахмала можно с достаточной точностью проследить по йодной пробе, а также по конечной степени сбраживания. Хотя отдельные части затора могут характеризоваться неудовлетворительной йодной пробой, первое сусло и промывные воды должны давать нормальное йодное окрашивание. Сусло перед кипячением и после него следует контролировать по йодной пробе (лучше всего при помощи спектрофотометра). Конечную степень сбраживания горячего охмеленного сусла следует проверять в каждой варке. Неудовлетворительная йодная проба (аналитически ΔE при длине волны 578 нм более 0,30) может вести к медленному и неполному осветлению пива («клейстерное помутнение»), что вызывается не неосахаренным крахмалом, а достаточно большим содержанием декстринов, дающим с йодом красновато-фиолетовое или красноватое окрашивание, причем растворимость этих декстринов уменьшается при брожении вследствие образования спирта.

Причины неполного осахаривания следует немедленно выявлять и устранять, причем оно может вызываться пивоваренным сырьем или нарушением технологии затирания. В *пивоваренном сырье* может содержаться недостаточное

количество ферментов вследствие того, что оно было получено из некачественного или неоднородного ячменя, а также из-за плохого увлажнения, высокой температуры проращивания, очень короткого проращивания или неправильной сушки солода. Повышенная температура хранения солода в высоком слое может отрицательно повлиять на его способность к осахариванию, и такой солод следует смешивать с партиями нормального солода. Переработка засыпи усложняется также при высокой доле наклонувшегося солода (более 25%). К характерному темному солоду часто добавляют светлый солод (10-20%). Причиной *нарушения технологии затирания* в большинстве случаев являются неправильные показатели термометра или слишком медленный процесс осахаривания. В результате температуры окончания затирания или промывания дробины оказываются слишком высокими. Слишком большие объемы отварок или остаточного затора, слишком быстрое нагревание или возвращение горячей отварки могут способствовать инактивации ферментов еще до того, как компоненты затора будут достаточно растворены. Неправильно умягченная (щелочная) вода или очень жесткая пивоваренная вода с высокой остаточной щелочностью способны повредить амилазы, а также повысить значения pH затора. Нежелательно слишком сильное подкисление затора вследствие нарушения технологии, например, проведения осахаривания при низких температурах (35-50 °C) или избыточной добавки кислых солода или сусла. Причиной нарушений технологии может стать также грубый помол, приготовленный ненадлежащим образом.

В случае плохо отфильтрованного (мутного) сусла с повышенным содержанием

сухих веществ (более 150 мг/л, см. раздел 2.4.3.9) при его кипячении может произойти разваривание попавших в него частиц крахмала с увеличением йодного окрашивания. Плохо осахаренное сусло медленно фильтруется и плохо осветляется, что приводит при сбраживании к снижению значения pH и увеличению содержания спирта. Дображивание прекращается преждевременно, у пива возможно появление отклонений во вкусе (например, появляется привкус дрожжей, диацетила, а иногда наблюдается и автолиз дрожжей). Такое пиво подвержено инфицированию вредными для него микроорганизмами — педиококками (сардинами). Из-за «клейстерного помутнения» задерживаются другие естественные процессы осаждения белков и β-глюканов, пиво с трудом фильтруется и зачастую характеризуется остаточной горечью.

Все эти факторы, естественно, отрицательно влияют на конечную степень сбраживания и качественные показатели готового пива.

Вместе с тем даже при нормальных условиях следует иметь в виду, что за образование достаточного количества сбраживаемых Сахаров ответственна не только определенная температура в интервале 62-65 °C, но и предварительная обработка при низких температурах, а также выдерживание такой паузы для общего затора, которая способствует достижению желаемого результата.

Недостаточно осахаренное или имеющее неблагоприятный состав сусло следует обязательно дополнительно обработать путем внесения солодовой вытяжки, которая способствует осахариванию и при низких температурах главного брожения и дображивания. В бродильном отделении достаточно добавить 0,1% солодовой

вытяжки, а в лаггерном отделении дозу следует удвоить. В большинстве случаев эта мера приводит также к повышению конечной степени сбраживания.

2.3.5.6. *Расщепление β -глюкана* можно контролировать простым способом только по вязкости сусла, позднее с помощью лабораторного фильтр-теста молодого и лаггерного пива (см. раздел 4.1). Определение β -глюкана методом ВЭЖХ по Карлсбергу обычно проводят в крупных лабораториях.

Причины недостаточного расщепления гумми-веществ и β -глюканов те же, что и при расщеплении крахмала (см. выше). Определяющими здесь является степень и гомогенность растворения солода, доля непроростков и т. д. Экспресс-контроль помогает внести поправки в процесс затиранья и скорректировать слишком высокое содержание β -глюкана, обусловленное свойствами солода. Ошибки при дроблении солода (слишком грубый помол) или затиранья (повышенная температура начала приготовления затора, влияние касательных напряжений, слишком позднее затиранье плохо размолотых оболочек) могут затруднить расщепление β -глюкана даже у нормально растворенного солода.

Недостаточное расщепление β -глюканов вызывает затруднения при осаждении и фильтровании, препятствует процессу осветления вследствие образования геля из β -глюканов, а также ухудшает физико-химическую стабильность пива.

2.4. Получение сусла. Фильтрование

После процесса затиранья *получение сусла* проходит в два этапа: 1) отделение полученного сусла в процессе фильтрования

(фильтрование первого сусла); 2) вымывание сусла, оставшегося в дробине после фильтрования горячей водой (выщелачивание или промывание дробины).

При фильтровании речь идет в основном о физических процессах (в отличие от затиранья). В настоящее время фильтрование осуществляется преимущественно при помощи *фильтр-чанов и заторных фильтров*. Кроме того, нашли применение специальные типы фильтрационных аппаратов, в частности «стрейн-мастер», а также различные аппараты непрерывного действия.

2.4.1. Фильтрование с помощью фильтр-чана

За последнее десятилетие конструкция фильтр-чана и принципы его работы существенно улучшились. Появились аппараты, в которых реализованы новые идеи, и ниже мы постараемся показать различия между старым и новым оборудованием.

2.4.2. Фильтр-чан

Фильтр-чан имеет, как правило, цилиндрическую форму, реже — прямоугольную или квадратную. Над собственно днищем чана располагается второе съемное перфорированное дно, на котором осаждается нерастворимая часть затора — дробина, образующая фильтрационный слой для первого сусла.

2.4.2.1. Фильтр-чаны в настоящее время изготавливают из нержавеющей стали, тогда как чаны старой конструкции изготавливались из меди и листовой стали. *Конструкция* аппарата должна быть вибростойкой; его устанавливают горизонтально,

создавая условия для равномерного осаждения дробины и тем самым формирования одинаковой толщины фильтровального слоя. Для предотвращения охлаждения горячего затора (75-77 °С) необходима *изоляция*. В качестве изолирующего материала применяют стекловату, минеральную вату или другие материалы, которые защищают рубашкой из листового материала, устойчивого к проникновению влаги. Необходимо также изолировать днище фильтр-чана. Сверху чан закрывает кожух с вытяжной трубой и задвижкой.

2.4.2.2. *Емкость* фильтр-чана определяется засыпью или количеством общего затора из расчета 8 гл/100 кг засыпи. Высота слоя дробины составляет в обычных фильтр-чанах 27-40 см (в зависимости от скорости фильтрования). В 1960-1980-е гг. для солода мокрого помола производились так называемые «фильтр-чаны высокого слоя» с высотой слоя дробины 50-60 см. Она определяется по удельной засыпи, то есть по количеству солода, занимающего 1 м² площади фильтр-чана. Учитывая, что 1 м³ мокрой дробины соответствует 550 кг засыпи, то при высоте слоя дробины 27 см удельная засыпь составит 150 кг, при высоте 36 см — 200 кг, а для высоты 55 см — 300 кг. Определенное значение имеет также степень измельчения помола: чем он тоньше, тем меньше высота слоя дробины при равной величине засыпи и тем труднее проходит процесс фильтрования. Лучше всего при меньшей величине удельной засыпи иметь большую высоту слоя дробины, то есть высокий объем дробины и низкую массу гектолитра данного помола (см. раздел 2.2.1). Для этого лучше всего подходит мокрый и кондиционированный помолы, повышающие объем дробины после

слива первого сусла соответственно на 10 и 35 %.

2.4.2.3. *Объем фильтр-чанов* при нормальной высоте слоя дробины вполне может составлять 25-30 т. Так как принципы загрузки сырья, фильтрования первого сусла и техника разрезания дробины изменились в сторону увеличения технологических единиц, применение более крупных фильтр-чанов не представляет особых трудностей.

2.4.2.4. *Съемное ситчатое дно* располагается на определенном расстоянии от днища фильтр-чана и разделено на отдельные сегменты площадью 0,7-1 м² каждый, представляющие собой листы толщиной 3,5-4,5 мм из фосфористой бронзы или латуни, то есть из материалов, подходящих по твердости, вязкости и износу. Отдельные листы опираются на боковые брусья и стойки, а в современных фильтр-чанах — на специальную систему опорных элементов. Опоры должны располагаться так, чтобы исключить прогиб ситчатых сегментов. Отдельные листы должны быть так подогнаны друг к другу, чтобы в местах стыковки не просачивалась дробина, а само съемное дно не могло быть разрезано рыхлительным механизмом. У комбинированных заторных фильтр-чанов съемное ситчатое дно специально фиксируется кулачками.

Большое влияние на процесс фильтрования оказывают сквозные отверстия в съемном ситчатом днище, обычно имеющие форму прорезей. На верхней стороне их ширина составляет, как правило, 0,7 мм, которая увеличивается на нижней поверхности до 3-4 мм. При длине 20-30 мм и 2500 прорезях на 1 м² получается свободная площадь отверстий (живое сечение) 600 см²/м² (6 %).

Съемные днища из нержавеющей стали характеризуются большей прочностью и позволяют увеличить свободную площадь отверстий до 10-15 %. Из нержавеющей стали также изготавливаются так называемые щелевые сита, похожие на решетки для подсушивания. Их элементы имеют щелевые отверстия 0,7 мм с живым сечением 20-25 %. Старые съемные днища (в большинстве случаев медные) встречаются в настоящее время очень редко. При диаметре отверстий 0,8 мм и колоколообразной форме для получения живого сечения в 2 % требуется 80 000 отверстий на 1 м².

Необходимо, чтобы сквозные отверстия были свободными и не перекрывались ни пузырьками воздуха, ни «пивным камнем», так что съемные ситчатые днища необходимо регулярно промывать 10 %-ным раствором каустической соды. Воздух из узких сквозных отверстий удаляют путем подачи горячей воды снизу выше уровня съемного дна.

2.4.2.5. Расстояние съемного ситчатого дна до днища фильтр-чана составляет в классических чанах 8-15 мм в зависимости от количества и диаметра фильтрационных труб или выпускных патрубков из фильтр-чана (как правило, около $\frac{1}{4}$ диаметра фильтрационных труб).

В некоторых конструкциях, например, в случае так называемого «*Shed-дняща*», имеется ряд концентрически расположенных наклонных плоскостей для обеспечения равномерного и беспрепятственного стекания сусла. Фильтр-чаны с высоким слоем дробины имеют только одно выпускное отверстие; отведение сусла происходит в самой низкой точке днища, имеющего небольшую конусность. При большой высоте съемного дна под ним скапливается большое количество

придонного теста, однако с этим приходится мириться.

Для повышения скорости фильтрования было предложено по краю чана установить боковые сита (на уровне до $\frac{2}{3}$ высоты слоя дробины). На одной пятой внешнего диаметра фильтрационного чана использовали треугольные ситовые элементы, сходные с элементами стрейн-мастера, но по мере совершенствования техники фильтрования эта довольно неудобная конструкция стала излишней.

Пространство под съемным дном может быть единым («открытые зоны слива») или разделенным перемычками так, чтобы у каждого выпускного отверстия было свое «замкнутое» пространство (эти перемычки должны обеспечить более равномерное выщелачивание дробины). Аналогичную, но расположенную концентрически конструкцию имеет также «*Shed-днище*».

2.4.2.6. Слив сусла производится по фильтрационным трубам, а его регулировка — с помощью фильтрационных кранов, установленных на их концах. Количество сусла, отводимое в единицу времени, зависит от диаметра труб в свету (25-50 мм) и от их количества, в связи с чем количество жидкости, которое способно пропустить выпускное отверстие, колеблется от 0,7 до 6,6 л/с в зависимости от высоты жидкости в чане (0,1-1,5 м) и скорости ее истечения (1,4-4,4 м/с). В новом конструктивном решении предусматриваются колпачки выпускных отверстий фильтрационных труб, позволяющие изолировать зону разряжения стекающей жидкости при сливе и фильтровании от слоя дробины, расположенного непосредственно над выпускным отверстием. Эта конструкция оказалась не вполне рациональной в производственной практике,

но хорошо зарекомендовало себя конусное примыкание фильтрационных труб к днищу фильтрационного чана. Благодаря такому решению уменьшается сопротивление дробины и достигается более равномерное выщелачивание фильтрационного осадка.

2.4.2.7. Площадь зоны фильтрования одной фильтровальной трубы обычно составляет 1,0-1,25 м². Таким образом, количество труб или отверстий для слива определяется площадью чана. Трубы и отверстия должны быть равномерно распределены по днищу чана так, чтобы площади фильтрования отдельных кранов были примерно одинаковыми и не пересекались. Для облегчения обслуживания чанов большого размера несколько фильтрационных труб зачастую выводят к одному крану, но при этом допускается объединение только тех зон, которые равно удалены от отверстий для стока (экстракт легче получить из «внутренних» зон фильтрования, расположенных в центре чана, чем из «внешних», находящихся на его периферии).

2.4.2.8. Классический фильтрационный кран сконструирован таким образом, что он пропускает как полную струю первого сусла, так и надежно регулирует отвод сусла при фильтровании. При дросселировании крана или при окончании слива сусла в систему не должен попадать воздух, который мог бы помешать стоку сусла. В старых или небольших варочных цехах часто применяли фильтрационный кран Эмсландера, в который сусло могло попадать через вертикальную медную трубу, изогнутую в виде лебединной шеи. Её верхняя точка для предотвращения слишком сильного разрежения находилась на 2-5 см выше уровня съемного

ситчатого днища. Сусло стекало в фильтрационный сборник, а отсюда в суслотварочный котел.

При использовании общей сборной трубы, проложенной горизонтально над фильтрационными трубами, процесс фильтрования существенно облегчается. Регулирование потока производится в этом случае одним краном необходимого размера на конце общей трубы.

2.4.2.9. Современные фильтрационные системы по своей конструкции и способу действия основываются на описанных выше принципах. Сусло стекает по фильтрационным трубам в цилиндрический сборник, расположенный под центром фильтр-чана, причем внутренние зоны фильтрования соединяются с верхним отделением сборника, а внешние — с нижним. Фильтрационные трубы могут также подсоединяться к концентрическим сборным трубам. В чанах большого объема (более 4 т) следует предусмотреть возможность независимого контроля отдельных зон фильтрования. Желательно иметь для каждой зоны или сборной трубы насос с плавной регулировкой скорости.

Полностью симметричная прокладка фильтрационных труб равной длины (около 3 м) с одинаковым гидравлическим сопротивлением и сопротивлением трения предназначена для обеспечения равномерного (по возможности) стока сусла и улучшения выщелачивания. Фильтрационные трубы выходят в центральный общий сборник с довольно высоким расположенным сливом, что позволяет обеспечить во всех трубах одинаковые гидромеханические условия. Таким образом, в фильтрующих зонах, где жидкости характеризуются различным содержанием экстракта, перепад давления

можно использовать для автоматического регулирования промывных вод (система Якоба-Шматца-Кютрайбера, (*Jakob/Schmatz/Kuhreiber*)).

Подача затора осуществляется сверху через устройство распределения затора, называемое «заторным пауком» и состоящее из 4-6 звеньев. Во время этой операции его располагают между плечами разрыхлителя. Возможно также использование распределителя в виде кольцевой трубы, расположенной выше уровня подъема разрыхлителя.

Заслуживает внимания и подача затора снизу, осуществляемая через 1-2 впускных отверстия (в небольших чанах) или через 4-6 отверстий (в крупных чанах). Отверстия расположены симметрично на внешней трети радиуса на уровне съемного ситчатого дна и перекрываются шаровыми кранами. В другой конструкции предусмотрен впуск затора из верхней кольцевой трубы, выполненной в виде сдвоенной трубы; он обеспечивает «наслаивание» мутного сусла и промывной воды на поверхности пивной дробины. Наполнение затора проводится сбоку в 4-х симметрично расположенных точках на уровне съемного дна или примерно в 15 см выше этого уровня.

2.4.2.10. Удаление выщелоченной пивной дробины осуществляется через спускной люк для удаления дробины, а в чанах большого объема — через несколько люков. Дополнительное оборудование фильтр-чана (разрыхлитель, аппарат для удаления дробины, устройства орошения/промывки, аппаратуру контроля процесса фильтрования и вспомогательное оборудование) мы рассмотрим при описании процесса фильтрования.

2.4.3. Процесс фильтрования в фильтр-чане

В процессе фильтрования различают несколько операций.

2.4.3.1. Перед закачиванием затора в фильтр-чан необходимо уложить и тщательно закрепить съемное ситчатое дно, а пространство между съемным дном и днищем фильтр-чана для вытеснения воздуха заполнить снизу горячей водой температурой 78 °С. Кроме того, после того, как вода указанной температуры покроет съемное дно, фильтр-чан необходимо *подогреть*. Излишек воды отводят в емкость для промывной воды или непосредственно в заторный котел.

2.4.3.2. Предпосылкой безупречного фильтрования является *создание фильтрующего слоя*. Скорость подачи затора насосом через край фильтр-чана составляет 2-4 м/с, но ее можно увеличить до 6-10 м/с. Во избежание расслоения и неравномерного распределения затора скорость подачи затора необходимо снизить, для чего его подают на траверсу разрыхлителя, а еще лучше — в так называемый распределитель затора, который улавливает поток затора, поступающий с большой скоростью, многократно изменяет направление движения струи и, таким образом, снижает скорость подачи затора до 0,3-0,4 м/с. Чем больше фильтр-чан, тем острее встает проблема равномерного распределения затора. У чанов большого размера лучше всего себя зарекомендовала кольцевая труба с 4-8 выпускными отверстиями, которые способствуют дальнейшему распределению затора благодаря наличию небольших экранов. Это устройство позволяет перекачивать затор за 8-10 мин даже при

большой засыпи. В небольших комбинированных заторных фильтр-чанах процесс добавления последней отварки совпадает с перекачиванием затора. Разрыхлитель с наклонно установленными ножами или перемещенной заторной планкой хорошо перемешивает затор, однако в чанах большего размера возникающие центробежные силы могут вызывать расслоение затора.

Подача затора снизу существенно упрощает распределение затора. Как мы уже отмечали, большую роль играет симметричное расположение впускных отверстий. При перекачивании затора плечи разрыхлителя устанавливают между впускными отверстиями; через 3-5 мин после начала перекачивания разрыхлитель медленно запускается и компенсирует возможное не вполне равномерное распределение дробины. При наличии боковых впускных отверстий примерно через 5 мин после начала перекачивания затора его подачу переключают на верхние впускные отверстия. Продолжительность подачи затора снизу составляет 7-8 мин.

2.4.3.3. Фильтрующий слой образуется уже во время перекачивания затора за счет осаждения оболочек с большей удельной массой легкой шелухи и частиц оболочек. Так называемое «верхнее тесто» осаждается медленнее, причем процесс его седиментации не нарушится, если фильтрование начать сразу же после перекачивания затора в фильтрационный аппарат. Принятую ранее паузу отстаивания заторной массы (в течение 20-30 мин) можно исключить, если только речь не идет об очень плохо осахаренном солоде.

Образовавшиеся слои располагаются друг над другом в сусле в виде взвеси. Скорость оседания «теста» зависит от

концентрации сусла. Менее плотный затор «взламывается» быстрее, чем концентрированный. Чем горячее затор, тем более рыхлый слой дробины и тем легче стекает сусло. Выдержанное сусло при использовании хорошо растворенного солода и правильном ведении затирания характеризуется темным, почти черным цветом. Рыжеватый («лисий») оттенок позволяет сделать вывод об ошибках при затирании, либо о плохом качестве солода.

После перекачивания затора под съемным дном остается мутная смесь воды, сусла и донного теста. Ее следует удалить путем быстрого открытия выпускного крана или слива сусла. В классических фильтр-чанах можно использовать быстрое полное открытие и закрытие двух соседних фильтрационных кранов, в результате чего под съемным дном возникает турбулентность, подхватывающая донное тесто, которое отводится через фильтрационные краны. Образовавшееся «мутное сусло» осторожно перекачивают обратно в фильтр-чан, не нарушая при этом структуру взвешенных слоев. В современных чанах с центральной системой фильтрования интенсивный слив производят с помощью попеременного включения и выключения фильтрационных насосов с охватом всей площади. При перекачивании затора снизу количество твердых веществ значительно меньше, чем при старых способах подачи затора, что позволяет добиться очень хорошего эффекта даже при наличии централизованной системы управления. Примерно через 2 мин интенсивного слива при нормальном открытии фильтрационного крана, соответствующем последующему расходу первого сусла, следующие 3-4 мин перекачивается мутное сусло, пока не будет достигнута определенная степень осветления (30-50 ед.

ЕВС). Затем переходят на слив прозрачного сусла. Интенсивный слив и перекачивание мутного сусла начинают либо через 3-5 мин после окончания перекачивания затора, либо (в большинстве систем) уже во время перекачки затора в фильтр-чан. При упоминавшейся быстрой седиментации составных частей дробины слой дробины формируется так быстро, что практически с окончанием перекачивания первого «мутного» сусла можно переходить на «прозрачное сусло».

2.4.3.4. Фильтрация первого сусла регулируют с помощью дроссельных клапанов на напорной стороне фильтрационного насоса(ов) или их плавной регулировкой. Средняя скорость фильтрации составляет в данном случае около 0,35-0,40 гл/мин на 1 т засыпи и в отличие от старых способов она достигается не постепенно, в течение примерно 20 мин, а с самого начала. Количество сусла, которое выпускается с 1 м², составляет 0,13-0,181 л/с и может быть при определенных условиях увеличено. Эта так называемая удельная производительность (на м²) зависит от:

- свойств сусла (фильтрация идет тем быстрее, чем горячее сусло и меньше его плотность, причем последнее утверждение действительно только с определенными ограничениями);
- сопротивления слоя дробины, включающего сумму всех сопротивлений, противодействующих протеканию сусла (оно минимально в начале фильтрации и постепенно возрастает в ходе этого процесса, причем это увеличение должно быть небольшим);
- от техники фильтрации, которая должна учитывать сопротивление слоя дробины.

Величина сопротивления дробины независимо от конструкции фильтр-чана и обусловлена качеством солода, составом помола, интенсивностью затирания, образованием слоев в начале фильтрации, загрузкой фильтр-чана и способом укладки съемного дна.

Хорошо растворенный солод при условии проведения достаточно глубокого затирания обеспечивает низкую вязкость сусла, способствующую улучшению седиментации составных частей солода и приводящую при фильтрации первого сусла к незначительному помутнению.

Состав помола определяет высоту слоя, объем и свойства дробины. Оболочки должны быть максимально сохранены и не разрушены, составляя определенную долю относительно других частей помола (крупки и муки). Различие между сухим и мокрым помолом при одной и той же удельной засыпи проявляется в увеличении высоты слоя дробины (с 32 до 36 см). Высокое содержание муки в помолке дает больше теста, которое уплотняет дробину. Очень быстрое фильтрация в начале процесса может привести к проникновению «верхнего теста» в еще рыхлые верхние слои фильтрационного осадка, вследствие чего все больше уменьшаются поры для прохождения сусла.

Для достижения определенной производительности фильтрации нельзя превышать определенной величины удельной засыпи (на 1 м²), которая зависит от типа помола. Если, например, для 150-160 кг засыпи сухого помола на 1 м² при продолжительности фильтрации 150 мин необходима удельная производительность 0,13 л/(м² · с), то для кондиционированного помола засыпь может составить 180-200 кг/м², что соответствует

скорости $0,16 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, а для мокрого помола — $240 \text{ кг}/\text{м}^2$, что должно дать относительно высокую скорость фильтрации ($0,20 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$). Если же ожидаемое время фильтрации составляет лишь 120 мин, то эти значения необходимо увеличить на 25 %. Преимущество высокого слоя дробины состоит в определенной равномерности, однако путь, который проходит жидкость через слой дробины, соответственно больше, что проявляется в повышенном трении. Таким образом, чтобы воспрепятствовать слишком быстрому спрессовыванию фильтрующего слоя, из помола должен получиться фильтрующий слой с повышенной пористостью.

Закупорка отверстий съемного дна в процессе фильтрации увеличивается настолько, что первоначальное живое сечение уменьшается с $600\text{--}1000 \text{ см}^2/\text{м}^2$ до $2\text{--}3 \text{ см}^2$, то есть до значения, которое соответствует отверстию того или иного крана и тем самым производительности с 1 м^2 съемного дна. Она зависит от массы дробины, сопротивления и силы разряжения протекающей жидкости, а также от убывания давления столба жидкости вследствие снижения уровня сусла. В начале фильтрации действует полная выталкивающая сила жидкости, и поэтому на съемное дно передается давление только 25 % массы дробины. По мере понижения уровня сусла эта выталкивающая сила уменьшается, а масса дробины увеличивается; фильтрующий слой становится все более плотным и менее проницаемым. В конечном итоге при удалении сусла на съемное дно передавалось бы не только давление массы сухого вещества дробины, но и поглощенной жидкости. Именно поэтому уровень жидкости в фильтр-чане не должен опускаться до полного прекращения действия вытал-

кивающей силы. При своевременном добавлении достаточного количества воды действие выталкивающей силы восстанавливается и дробина «всплывает».

Разрежение, обусловленное стеканием сусла, приводит также к увеличению сопротивления дробины. Сбор сусла через кран должен уравниваться поступлением сусла через дробину. При слишком быстром фильтровании слои дробины сжимаются и становятся непроницаемыми под действием разрежения от стекающего сусла. Негативно влияют на процесс фильтрации также остывание дробины и вибрация чана, способствующие уплотнению слоя дробины.

Живое сечение съемного дна играет здесь незначительную роль. Тем не менее при живом сечении 20–25 % первое сусло стекает быстрее, чем при сечении 6–10 %; у сит с размерами щелевых отверстий 0,7 мм прозрачность сусла вполне удовлетворительная.

Из вышесказанного следует, что фильтрация зависит от многих особенностей той или иной технологии. Так как сопротивление дробины для каждого типа солода, зачастую даже от варки к варке, меняется по-разному и зависит от используемого фильтрационного оборудования, возникает необходимость иметь устройство, позволяющее измерять эти величины и соответствующим образом регулировать фильтрационные краны.

Хорошо зарекомендовал себя на практике фильтрационный манометр Якоба (прежде всего для закрытых систем), состоящий из трех вертикальных трубок. Первая из них связана с фильтр-чаном примерно в середине слоя дробины и показывает уровень жидкости в чане (h_1); вторая трубка связана с пространством между съемным дном и дном фильтр-чана (h_2), а третья соединена с центральной

фильтрационной сливной трубой (h_3). По разности высот $h_1 - h_2$ получают данные о сопротивлении дробины, а по разности $h_2 - h_3$ - о разрежении стекающего сусла. Благодаря полученным данным можно согласовывать друг с другом сопротивление дробины и скорость фильтрования, правильно определяя продолжительность рыхления дробины. Обычно для проведения фильтрования в зависимости от сопротивления дробины бывает достаточно регистрировать лишь значение $h_1 - h_2$. Этот показатель можно также использовать при автоматизации процесса фильтрования.

Модернизацией манометра является *регулятор давления фильтрования* по Якобу, отображающий не только давление фильтрования, но и позволяющий поддерживать его на определенном уровне. Под «давлением фильтрования» понимают общее давление при стекании сусла, то есть давление столба жидкости уменьшают на сопротивление дробины и общее сопротивление от трения и изменения направления (практически оно составляет значение h_3). Регулятор давления фильтрования (компенсационный сосуд диаметром около 50 см) устанавливают на центральной фильтрационной трубе.

Продолжительность фильтрования первого сусла обычно составляет 75-105 мин, редко дольше, однако в современных системах продолжительность фильтрования значительно меньше. Для пивовара важны свойства первого сусла, так как в нем проявляются качество солода и результат затиранья. Цветность, прозрачность, йодная проба, запах и вкус первого сусла позволяют сделать вывод о соответствии свойств солода и примененного метода затиранья требуемым параметрам. Уже на этом этапе можно выя-

вить пороки вкуса и принять меры по их устранению.

Количество первого сусла, содержание в нем экстракта и рассчитанный на базе этих данных выход первого сусла следует определять для каждой варки. Выход рассчитывают по следующей формуле:

$$\text{Выход экстракта с первым суслом} = \frac{\text{Кол-во (гл)} \times \text{Экстракт (\% масс.-об.)} \times 0,98}{\text{Масса засыпи (нем. ц)}}$$

При расчете объема первого сусла, в отличие от горячего охмеленного сусла, применяют коэффициент 0,98, так как температура первого сусла при определении его количества составляет только 70 °С. Выход экстракта с первым суслом при использовании фильтр-чанов составляет 40-50 % и зависит от того, насколько полно удастся «стянуть» первое сусло. Дробина из мокрого помола из-за ее более грубого состава также удерживает сравнительно много первого сусла.

2.4.3.5. *Фильтрование промывных вод.*

Экстракт, оставшийся в дробине после фильтрования первого сусла, частично удерживаемого на поверхности частиц дробины, а частично — внутри них за счет набухания и пористости, необходимо промыть горячей водой. Такое промывание пивной дробины или выщелачивание производят возможно меньшим количеством воды, так как в противном случае из оболочек удаляется больше дубильных, горьких и красящих веществ, что отрицательно сказывается на качестве пива. Содержание экстракта в промывной воде должно составлять около 0,5 % (но не более 1 %), однако в приготовлении специальных типов пива бывают исключения из этого правила.

Необходимую для выщелачивания воду подают в дробину с помощью промывных аппаратов или системы форсунок. Первые состоят из закрытых с двух сторон заглушками перфорированных медных труб, путем автоматического вращения равномерно распределяющих воду по поверхности дробины из расположенной в центре емкости. Скорость вращения не должна превышать 5-10 об/мин, поскольку иначе вода будет отбрасываться на стенки чана. Объем бака для промывной воды должен быть рассчитан таким образом, чтобы избежать переполнения емкости и тем самым всплывания части затора. Накипь, способную нарушить работу системы, следует своевременно удалять. Промывное устройство располагают так, чтобы при делении промывных вод на три порции каждую из них можно было распределить по поверхности дробины примерно за 10 мин.

Выщелачивание дробины идет тем быстрее и полнее, чем выше температура воды, но эта температура должна оставаться в интервале температур осахаривания — в противном случае вместо продолжения осахаривания будет происходить растворение крахмала и его клейстеризация. Подачу промывной воды проводят только тогда, когда первое сусло стечет в дробину примерно на 1 см ниже ее поверхности во избежание насыщения промывной воды экстрактом до того, как она проникнет в дробину. Подача воды производится в два или три приема. В начале промывания вода должна иметь температуру около 75 °С, и только когда слой воды над дробинной достигнет примерно 5 см, температуру воды можно повысить до 78 °С. Слишком низкая температура воды приводит к помутнению промывных вод. Их объем составляет 4-5 гл/100 кг засыпи в зависимости от кон-

центрации первого сусла и степени его осветления. Избыточное количество промывных вод приводит к слишком сильному разбавлению сусла, желаемую концентрацию которого приходится затем восстанавливать путем кипячения. Не говоря уже о технологических недостатках, эта мера является неоправданной с точки зрения энергосбережения и последовательности варок. Объем промывных вод следует подбирать так, чтобы обычное для производства испарение при кипячении не превышало 10-12 %. Кроме того, промывные воды должны быть декарбонизированы во избежание нежелательного окрашивания сусла и ухудшения вкуса.

Эффективность промывания зависит также от времени, необходимого для выщелачивания экстракта из дробины (слишком быстрое фильтрование представляется нецелесообразным).

В классических промывных аппаратах, а также в системах с использованием форсунок вода падает на слой дробины с высоты около 1 м, взмучивая верхнее тесто и сусло и перемешиваясь с суслом еще до его проникновения в дробину. Это приводит к снижению выщелачивающей способности. Устройством, позволяющим устранить эти недостатки (особенно в небольших чанах), является так называемый поплавок Хоффмана — жестяная тарелка с небольшой конусностью, поддерживаемая на плаву четырьмя полыми шарами. Подводимая к центру горячая вода переливается через концентрически расположенные буртики и равномерно разливается по поверхности сусла. При этом необходимо заливается ровно столько воды, сколько сусла стекает через фильтрационные краны.

Преимущество промывания дробины с помощью системы форсунок состоит

в его непрерывности. После фильтрования первого сусла, которое целесообразно проводить лишь до уровня 1 см ниже поверхности дробины, фильтрование прерывают, дробину разрезают на высоте, соответствующей сопротивлению дробины, и промывают. При этом на дробину быстро поступает количество воды, соответствующее примерно по объему первой порции промывных вод (25-30 %), и образуется слой воды. Затем подача воды регулируется в зависимости от скорости фильтрования. Преимущество заключается в том, что при распределении второй и третьей порции воды нет необходимости приостанавливать фильтрование, так как отсутствует риск смыва верхнего теста в слой дробины.

Техника разрезания дробины выбирается в зависимости от сопротивления дробины; благодаря отсутствию глубоких резов при остановке фильтрования лучше сохраняется фильтрующий слой и предотвращается помутнение сусла, унос частиц дробины, а также сокращается время простоя. Вместе с тем отстой взвесей хмеля (при необходимости его добавления при фильтровании) следует вносить раньше, то есть после стекания первого сусла или вместе с первой порцией промывных вод (10-20 %).

Фильтрование промывных вод длится 90-120 мин. В современных фильтр-чанах, оборудованных эффективными подрезывающими разрыхлителями, процесс фильтрования промывных вод можно ускорить. Преимущество высокого слоя дробины состоит в том, что экстракт поглощается более толстым слоем, однако промывные воды при этом должны просачиваться через него быстрее. Как бы то ни было, при толстом слое дробины небольшая неравномерность фильтрационного слоя сказывается не так сильно, как при тонком.

2.4.3.6. Устройства для разрыхления и разрезания дробины. Обычно уже во время стекания первого сусла дробина так сильно спрессовывается, что из-за ее возросшего сопротивления стекание полностью прекращается. В целях уменьшения сопротивления дробины, ускорения стекания сусла и обеспечения все новых каналов для воды, способствуя тем самым равномерному и быстрому выщелачиванию, необходимо проводить разрыхление дробины.

Для решения этих задач применяют устройства, которые только разрезают дробину, не нарушая образовавшихся слоев. На горизонтальном валу устанавливают на расстоянии около 20 см друг от друга прямые, искривленные или зигзагообразные ножи, на боковых сторонах и нижних концах которых имеются элементы в виде лемеха. Они разрезают и рыхлят фильтрующий слой дробины. По линиям разреза промывная вода проникает в дробину и выщелачивает соседние участки. Разрезание дробины может проводиться на разной высоте — так, для уменьшения сопротивления дробины в конце слива первого сусла разрыхлитель устанавливают в самое нижнее положение, тогда как при фильтровании промывной воды сопротивление дробины не так важно, как обеспечение равномерного проникновения воды через слой дробины. Во избежание смещения дробины ножи нельзя устанавливать слишком близко друг от друга, в связи с чем, а также в целях обеспечения равномерного выщелачивания (особенно внешних участков) расстояние между ножами от периферии к центру увеличивается. На парной балке передние и задние ножи устанавливают со смещением, причем для мокрого помола это расстояние увеличивают. Длина тонких и узких ножей должна

быть такой, чтобы при самой высокой засыпи и самом глубоком погружении ножей они могли разрезать дробину, не сдвигая ее слоев. Чтобы обеспечить в фильтрачных любых размеров равномерную обработку слоя дробины, количество ножей на 1 м^2 должно составлять 2-2,5. Меньшее количество ножей оправдано только при установке на лемехе поперечных ножей; при использовании парных смещенных балок количество ножей на нижнем конце увеличивают до 3,5-3,8 шт./ м^2 . Для установки ножей при засыпи от 3-3,5 т подрезывающие рыхлители имеют три плеча, для засыпи 6 т — четыре, а для засыпи 10 т — шесть плеч. Целесообразно устанавливать ножи на дополнительных балках.

Окружная скорость вращения разрыхлителя составляет не более 2,5-4 м/мин; ее можно плавно регулировать. Только так удается ослабить сопротивление дробины, например, во время стекания первого сусла или даже снять его при доливках. В непосредственной близости от съемного ситчатого дна это можно осуществить без сдвига дробины и слива муты только за счет уменьшения окружной скорости до 0,8-1,5 м/мин. При более высоком положении разрыхлителя допустима скорость 2-2,5 м/мин. Новые конструкции разрыхлителей позволили избавиться от ножей поперечной резки, обычно применявшихся ранее на некоторых балках. Задача ножа состоит в отделении нижнего спрессованного слоя дробины от съемного ситчатого дна и сбрасывании этого слоя с задней выступающей кромки ножа на съемное дно. Аналогичный эффект достигается благодаря конструкции лемеха и спаренных балок, а также смещением поперечных ножей относительно друг друга. Компенсирование работы разрыхлителя с небольшим количеством

ножей за счет повышения окружной скорости до 6 м/мин представляется нецелесообразным.

Раньше ножи на одном или двух плечах делали поворотными, чтобы была возможность ставить их под углом при затирании и при удалении дробины. Поскольку эти ножи имели усиленную конструкцию по соображениям прочности, они были склонны к проскальзыванию. Зачастую не обеспечивалась их параллельность, что приводило к сдвигу фильтрующего слоя дробины. В таких случаях лучше осуществлять удаление дробины с помощью дополнительной планки, устанавливаемой при удалении дробины в необходимое положение пневматическими устройствами. В крупных чанах для этого требуется две-три подобные планки, позволяющие удалять дробину за 6-8 мин (скорость при выгрузке дробины составляет 2-3 м/с).

2.4.3.7. Принцип действия классического фильтр-чана. После тщательной промывки заторного трубопровода производят спуск мутного сусла через фильтрационный кран до расхода $0,15 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Обычно в середине фазы фильтрации первого сусла сопротивление дробины резко возрастает. Уже в этот момент при закрытом кране целесообразно включить разрыхлитель и разрезать дробину при самом низком положении ножей, сделав 1-2 оборота, чтобы максимально уменьшить сопротивление дробины. После медленного подъема ножей разрыхлителя необходимо снова перекачать в чан мутное сусло. При нормальном качестве солода повторное рыхление не требуется вплоть до стечения первого сусла ниже поверхности дробины. Как только на этой поверхности сусла больше не останется, при закрытом кране вновь проводят рыхление

при самом низком положении ножей разрыхлителя до тех пор, пока сопротивление дробины не снизится до нуля, одновременно производя промывку водой. Первая промывная вода вводится в течение 10-15 мин. После подъема и остановки разрыхлителя начинают первую промывку, скорость которой незначительно превышает скорость стекания первого сусла. Лишь при подаче второй порции промывной воды можно форсировать процесс фильтрования. При подаче третьей порции промывной воды интенсивного разрыхления не требуется. Воду подают на свободную от сусла поверхность дробины, а к разрезанию дробины на высоте примерно 15 см приступают лишь после того, как над ее поверхностью образуется слой воды не менее 5 см (чтобы верхнее тесто не просочилось в фильтрующий слой). Во время интенсивного стекания промывных вод со скоростью около $0,25 \text{ л/м}^2$ в секунду разрыхлитель медленно опускают на 5 см, делают 2 оборота и снова медленно поднимают (эту операцию можно повторить еще один раз).

В конце фильтрования, продолжающегося около 3 ч, достигается требуемая концентрация промывных вод. Фильтрование считается проведенным правильно в том случае, если большая часть верхнего теста перед удалением пивной дробины находится на поверхности фильтрующего слоя.

2.4.3.8. Принцип действия современного фильтр-чана (1993/1994 гг.) основан на использовании кондиционированного помола или мокрого дробления при определенной влажности. Используется загрузка фильтр-чана снизу, современный многорычажный разрыхлительный механизм и непрерывный процесс промывания дробины. Удельная засыпь несколько

меньше, чтобы иметь возможность фильтровать 8-10 варок за 24 ч. Для этого необходимо сократить время на подготовку и слив. В случае фильтр-чана, рассчитанного на $200 \text{ кг засыпи/м}^2$, процесс протекает следующим образом. Загрузка осуществляется снизу через впускные отверстия (от 2 до 6) или по центральному каналу с вводом воды в течение 6-8 мин. В аппаратах одних производителей интенсивный слив начинается лишь через 3-5 мин по окончании затирания, а в аппаратах других фирм-производителей к нему приступают по истечении половины времени затирания. В этом случае ножи разрыхлителя разрезают дробину на высоте около 10 см со скоростью $1,5 \text{ м/мин}$. Благодаря подводу затора снизу под съемным дном образуется меньше теста, что позволяет с помощью технологии интенсивного слива через один кран или концентрическую сборную трубу удалить твердые вещества за довольно непродолжительное время (3-4 мин), а еще через 3-4 мин переключить насосы мутного сусла на прозрачное сусло (при достижении цветности 30-50 ед. ЕВС). Скорость фильтрования изначально устанавливают на $0,15 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$. Быстро растущее сопротивление дробины способствует осветлению сусла почти до 5 ед. ЕВС; затем вводят разрыхлитель и в зависимости от сопротивления дробины или скорости фильтрования постепенно опускают его до 25, 5 или даже до 3 мм над уровнем съемного дна. Зачастую удается осветлить первое сусло без «глубокого разрезания» и прерывания процесса фильтрования. Если сопротивление дробины превышает определенное значение, например 200-250 мм, или скорость фильтрования снизится ниже заданного значения, то глубокое разрезание проводят с приостановкой процесса фильтрования.

Если расчет характеристик разрыхлителя выполнен правильно, то сопротивление дробины снова снизится до нуля не более чем за 4-5 мин, включая подъем разрыхлителя примерно на 20 см. Во избежание выполнения двух глубоких разрезов с небольшим интервалом в конце фильтрования первого сусла (одного при снижении скорости фильтрования, а второго после стекания первого сусла) важно проводить фильтрование оставшегося первого сусла немного медленнее. Как правило, процесс фильтрования первого сусла продолжается 50-65 мин, что намного лучше, чем прежде. Параллельно с глубоким разрезанием дробины в конце фильтрования первого сусла проводится промывание дробины (обычно непрерывно с помощью форсунок или центральной сдвоенной трубы). Примерно одна треть воды подводится в течение 5-8 мин, а дальнейшее ее поступление примерно соответствует скорости стекания сусла, то есть уровень остается постоянным. Преимущество такой технологии заключается в том, что разрезание, рыхление дробины и поддержание контакта с ней промывных вод осуществляется только в зависимости от сопротивления дробины. Ранее между отдельными порциями промывной воды обычно фильтровали предыдущий налив до уровня 1 см ниже поверхности дробины, а следующий налив осуществляли при кратковременном прерывании фильтрования и разрезании дробины на высоте 5-10 см в зависимости от ее сопротивления. Это приводило к потере времени и получению более мутного сусла вследствие интенсивного разрезания и сильного разрыхления фильтрующего слоя.

В современных конструкциях разрыхлителей используется непрерывный режим работы на различной высоте для

создания благоприятных условий при контакте дробины с водой и предотвращения образования каналов. При высоте разрезания 15 см окружная скорость рыхлителя V_u составляет 2-2,5 м/мин, а при высоте 5 см — лишь 0,8-1,5 м/мин (для поддержания сопротивления дробины на уровне 100-130 мм и предотвращения замутнения промывных вод). Скорость фильтрования первой порции промывных вод (одна треть от общего количества) составляет 0,15-0,18 л/($m^2 \cdot c$), а у последующих порций — 0,20-0,25 л/($m^2 \cdot c$). Количество промывной воды на поверхности дробины рассчитывают так, чтобы впитывание последнего долива происходило при достижении полного объема, необходимого для кипячения, то есть чтобы избыток последних промывных вод не стал дополнительной нагрузкой на сточные воды и не потребовалось бы их повторной утилизации. Продолжительность фильтрования промывных вод составляет 60-75 мин, а общая продолжительность фильтрования — 110-130 мин.

Чтобы ускорить получение первого сусла (прежде всего в чаиах более старой или менее совершенной конструкции), его иногда отбирают сверху с помощью поплавкового декантатора. Этот прием неплохо себя зарекомендовал для не очень плотного первого сусла (содержание экстракта менее 16%) или для фильтранов с толстым слоем дробины, когда возможно четкое разделение находящегося сверху сусла и дробины. Преимуществом здесь является сокращение продолжительности получения первого сусла (примерно на 30 %), а также уменьшение нагрузки на слой дробины, что в результате приводит к некоторому ускорению фильтрования промывных вод. К недостаткам следует отнести замутнение

нефильтрованного первого сусла в виртуле и недостаточное осветление сусла, а также нестабильность осадка. Недостаточное отделение высокомолекулярных жирных кислот ухудшает пеностойкость и стабильность вкуса пива.

Применение боковых сит или фильтрующих элементов стрейнмастера (см. раздел 2.4.9) имеет меньше недостатков, так как сусло все же просачивается через определенный слой дробины (10-15 см), подвергаясь при этом фильтрации, хоть и не полноценной. Тем не менее такие сита быстро засоряются, в связи с чем требуется подгонка ножей разрыхлителя для очистки сит от приставшей к ним дробины.

Числовые показатели, приведенные выше, колеблются в рамках предельных значений. Это объясняется тем, что фильтры выпускаются вместимостью 200 кг засыпи/м² (на 8 варок/сут) и 160 кг засыпи/м² (на 10 варок/сут). Тем самым данные на 1 м² фильтрующей поверхности, а также технология разрезания и промывки дробины немного отличаются. Возможность выхода на 10 варок/сут даже при удельной засыпи 185-200 кг/м² представляет фильтрацию под давлением, для чего фильтр-чан должен быть герметичным. Уже при фильтровании первого сусла небольшое давление на систему оказывает СО₂. При этом первое сусло без риска окисления может впитываться в поверхность дробины на 2-4 см. Фильтрация промывных вод также проходит при избыточном давлении и скорость фильтрации увеличивается на 10-15 % при прочих равных параметрах фильтрационного оборудования.

2.4.3.9. Качество фильтрования (состав первого сусла и промывных вод, прозрачность сусла и содержание в нем кислорода) играет существенную роль, как и количе-

ственные аспекты (продолжительностью фильтрования, выход экстракта). При известных условиях оно может отрицательно повлиять на свойства полученного сусла.

Состав сусла. Со снижением концентрации промывных вод значение рН повышается на 0,3-0,6 под влиянием остаточной щелочности промывной воды. Вследствие этого, а также из-за разности концентраций происходит более интенсивное выщелачивание красящих веществ. В пересчете на 12 %-ный экстракт цветность возрастает в 3-6 раз. Содержание общего азота, особенно высокомолекулярных (коагулируемых) азотистых соединений, возрастает с увеличением содержания α-аминного азота. Наблюдается существенное увеличение содержания полифенолов — их содержание в последней промывной воде по сравнению с первым суслом возрастает в 3-5 раз; та же тенденция отмечается у антоцианогенов, так что ухудшения индекса полимеризации не происходит. Растет и содержание минеральных веществ, прежде всего кремниевой кислоты, содержание которой увеличивается в 13 раз.

Влияние этих отрицательных факторов можно уменьшить, снизив содержание экстракта в первом сусле примерно до 16%, прекратив фильтрование сусла для специальных сортов пива при содержании экстракта в последней промывной воде, равном 1,5 %, а также сократив продолжительность фильтрования и не допуская попадания воздуха в дробину (например, следя за тем, чтобы дробина в процессе промывания постоянно находилась под слоем воды).

Окисление сусла можно ограничить с помощью перечисленных выше мер, прежде всего исключив попадание воздуха при перекачивании сусла из фильтр-чана

в сборник первого сусла или в сусловарочный котел. Нормальным является содержание кислорода в сусле менее 0,1 мг/л.

Прозрачность сусла должна гарантироваться в течение всего процесса фильтрования. Свободные высшие жирные кислоты (C₁₂-C₁₈), встречающиеся в заторе, при правильном ведении фильтрования преимущественно задерживаются фильтрующим слоем дробины. Их переход в сусло способен (под действием процессов окисления) привести к образованию в нем гидроксикислот и гидропероксидов, а также соединений, оказывающих влияние на стабильность вкуса пива. На фильтрат сусла влияют тип помола солода (мокрый помол требует большей осторожности и точности при фильтровании, чем сухой) а также размеры щелевых отверстий съемного ситчатого дна (менее 0,8 мм), толщина слоя дробины и удельная скорость фильтрования. Также большое значение имеет эффективность интенсивного слива сусла, в частности конструкция и способ управления разрыхлителем. В современных фильтр-канах содержание твердых частиц может достигать 50 мг/л и даже 30 мг/л (при средней мутности сусла менее 20 ед. ЕВС). Это значительно лучше, чем при использовании фильтр-чанов старой конструкции, где у кондиционированного солода сухого помола наблюдались значения 80-150 мг/л, у солода мокрого помола — 140-180 мг/л.

Йодная реакция сусла должна быть нормальной при условии хорошего качества солода, безукоризненного помола и правильного ведения процесса при окончании затирания и стекании первого сусла. Из-за промывания дробины водой очень высокой температуры нерасщепленный крахмал может перейти в раствор, и в случае плохо отфильтрованного (мутного)

сусла попавшие в него твердые частицы при кипячении сусла развариваются. Как правило, йодное окрашивание тем сильнее, чем больше мути в сусле и чем выше в нем содержание нерастворенных твердых частиц.

2.4.3.10. Количество сточных вод по окончании фильтрования может колебаться в широких пределах. Обычно оно составляет 4 гл/т засыпи, но может быть и существенно выше при слабом обезвоживании дробины или при избытке последней промывной воды. Количество сточных вод можно снизить до 1-2 гл с помощью точного расчета объема последней промывной воды. В этом случае представляется целесообразным добавлять к «сухой» разгружаемой дробине воду, отделяемую в шнековом прессе транспортера дробины.

2.4.3.11. Удаление дробины после окончания фильтрования выполняют с помощью разрыхлителя, оснащенного выгрузной планкой с пневматическим опусканием, которая выполнена в форме буквы «S», что позволяет перемещать дробину как из внутренних зон чана, так и от его края к отверстиям для выгрузки дробины. В зависимости от размера чана используют от 1 до 3 планок для выгрузки дробины. Выгрузные планки более эффективны, чем ножи, установленные под наклоном.

При ускоренном режиме работы разрыхлителя его окружная скорость составляет 2-3 м/с. Продолжительность выгрузки дробины не должна превышать 6-8 мин, для чего под фильтр-чаном целесообразно установить емкость для дробины, рассчитанную на одну варку.

2.4.3.12. Контроль работ по промыванию и разрезанию дробины заключается в первую очередь в проверке равномерности

и полноты выщелачивания дробины по всей площади фильтр-чана. В чанах старой конструкции этот контроль осуществляется путем оценки цвета сусла, вытекающего из отдельных кранов; более объективные данные получают с помощью сахарометров для горячего сусла или денситометров, являющихся обязательными для регулирования отдельных зон фильтрования приборами, особенно у высокопроизводительных фильтр-чанов. Концентрация последней промывной воды должна определенным образом соответствовать вымываемому экстракту сырой дробины (например, концентрация последней промывной воды — 0,6 %, вымываемый экстракт — 0,4 %), а также пробам отпрессованной жидкости. Эти пробы отбирают с помощью трубки с внутренним диаметром 50 мм из всего слоя дробины, в частности из одного сегмента на поверхности чана (9-12 проб) и затем отпрессовывают. Различия значений экстракта на отдельных фильтрационных кранах или в отдельных участках фильтр-чана могут быть вызваны неомогенностью затора после перекачивания в чан, а также неравномерным разрыхлением или промыванием дробины. Особенно трудно поддаются выщелачиванию внешние зоны фильтрующего слоя, что приводит к повышенной концентрации последней промывной воды. «Закрытое» съемное дно в сочетании с симметрично проложенными фильтрационными трубами «автоматического фильтрования долива» позволяет добиться лучшей сбалансированности разницы содержания экстрактивных веществ в отдельных зонах фильтрования и позволяет провести более равномерное выщелачивание.

2.4.3.13. Производительность и экономическая эффективность фильтр-чана. В нор-

мальных условиях производительность фильтр-чана при удельной засыпи 180—200 кг/м² может составлять 8 варок/сут, при уменьшенной засыпи (около 160 кг/м²) или при фильтровании под давлением — даже 10 варок/сут. Условием достижения этой существенно более высокой производительности по сравнению с прежним уровнем является не только модернизация фильтр-чана и технологии фильтрования, но и ощутимое сокращение подготовительного периода. В него входят подготовительные работы по фильтрованию (заполнение системы — 3 мин, перекачивание затора, слив и перекачивание мутного сусла — 11 мин), по удалению дробины (7 мин) и промывке (3 мин). Глубокое разрезание дробины при прекращении фильтрования, хотя на это затрачивается всего около 4-5 мин, даже при оптимальной технологии требуется выполнить по крайней мере один раз.

Фильтр-чаны более чувствительны к солоду плохого качества, чем фильтр-прессы или майш-фильтры. Переработка несоложенного сырья в объеме до 40 % от засыпи возможна при соблюдении условий, рассмотренных в разделе 2.3.3.9. Автоматизация процесса фильтрования ведет к дальнейшему сокращению (и без того невысокой) потребности в рабочей силе и способствует равномерному ходу фильтрования, но не избавляет от необходимости регулярного контроля.

Достижимый выход экстракта в варочном отделении примерно на 1 % ниже лабораторного выхода в пересчете на воздушно-сухое вещество. На предприятиях с недостаточной организацией контроля эти показатели бывают значительно хуже. Фильтр-чан допускает некоторую перегрузку: так, например, его загрузка без каких-либо отрицательных последствий может составлять ±10-15 % от

«нормальной засыпи». Это позволяет получать одинаковое количество горячего охмеленного сусла при изготовлении разных сортов пива.

2.4.4. Фильтрование с помощью традиционного фильтр-пресса

В отличие от фильтр-чана при использовании фильтр-пресса используется несколько иной принцип получения сусла. Если в фильтр-чане имеется только один единственный фильтрационный слой дробины толщиной 30-60 см по площади чана, то в фильтр-прессе весь затор разделяется на некоторое количество одинаковых вертикально расположенных фильтрационных слоев толщиной 6-7 см на площади, соответствующей размеру рамы. Эти рамы ограничены с обеих сторон салфетками фильтр-пресса, через которые может проникать сусло, тогда как дробина остается в рамках. Вместо естественного фильтра из оболочек в данном случае применяется искусственный тканевый фильтр в виде салфетки.

2.4.5. Заторный фильтр-пресс (майш-фильтр)

2.4.5.1. Элементы фильтр-пресса (рамы и плиты) навешены на несущий каркас, который должен иметь очень прочную конструкцию, чтобы наряду с большой массой элементов фильтра выдерживать также нагрузки, возникающие при их сдавливании. Станина несущего каркаса также должна обладать достаточной прочностью.

2.4.5.2. Рамы или камеры имеют квадратное, прямоугольное, реже круглое поперечное сечение. Их количество зависит

от массы засыпи и составляет от 10 до 60; в зависимости от конструкции их размеры могут быть 1000 x 1000, 1400 x 1400, 1200 x 1500 или 1400 x 1650 мм. При глубине камеры 65-70 мм вместимость камеры составляет 120-150 л. Таким образом, камера размером 1400 x 1400 мм вмещает от 110 до 125 кг засыпи, а размером 1400 x 1650 мм - от 125 до 140 кг, что соответствует удельной засыпи в 55-62 кг/м². При использовании несоложенного сырья следует учитывать так называемый «солодовый эквивалент» — для кукурузной и рисовой крупки он равен 0,4, для кукурузного крахмала — 0. Таким образом, загрузка камеры при введении, например, 33 % кукурузной крупки может быть увеличена на 20 %, а кукурузный крахмал не учитывается.

Свободное пространство всех камер образует общую емкость фильтра, которая должна быть заполнена дробинной. Если объем дробины слишком велик, то возникают проблемы с фильтрованием, а если слишком мал, то камеры заполняются не полностью и выщелачивание дробины проходит неравномерно.

Заполнение камер осуществляется сверху через центрально расположенный канал для подачи затора, образованный из приливов в верхней части каждой камеры и соединенный с помощью щелевидных отверстий определенного размера с внутренней частью камер. Эти приливы для подачи затора в отдельные камеры герметизированы резиновыми кольцами и образуют общий сквозной канал, проходящий через весь фильтр. У традиционных фильтр-прессов новой конструкции предусмотрена также подача затора снизу. При этом поступающий затор вытесняет вверх воздух, что дает определенные технические и технологические преимущества. В фильтр-прессах нового

поколения (см. раздел 2.4.7) всегда применяется такая подача.

2.4.53. *Плиты или решетки* являются элементами, через которые собирается отфильтрованное через салфетки сусло, отводимое затем через фильтрационные краны в сборный лоток или в центральный канал для сусла. Эти плиты сплошные и имеют ребра, создающие достаточно большое пространство для стекания сусла; их выполняют также в виде решетки с открытыми камерами или в форме гофрированных листовых плит. Последние конструкции характеризуются небольшой массой и обеспечивают лучшее стекание сусла и быстрое распределение промывной воды. В новой конструкции получению более равномерного слоя дробины способствуют поддерживающие решетки, которые должны защищать салфетки от преждевременного износа. Каждая плита для подачи воды имеет приливы в форме проушины, которые в свою очередь соединяются шлицами с внутренней частью плит. В подготовленном для работы фильтре приливы образуют сквозные каналы, через которые промывная вода может поступать в фильтр. На каждой плите внизу сбоку предусмотрен фильтрационный кран, который в новых конструкциях соединен с каналом закрытой системы фильтрации, выведенным к центральному крану. Чтобы фильтр был постоянно заполнен суслом или водой, сливную трубу устанавливают выше фильтра.

2.4.54. *Фильтрующие салфетки*, которые раньше изготавливали из хлопчатобумажной ткани, а в настоящее время производят из синтетической ткани или полимерных материалов, должны задерживать все твердые или образующие муть частицы. Ткань не должна быть

слишком плотной, так как иначе увеличивается продолжительность фильтрации и затрудняется выщелачивание. У салфеток из неплотно сотканной ткани качество фильтрации недостаточно тонкое. Неровно сотканые салфетки дают неравномерное выщелачивание и снижают выход экстракта. Проницаемость салфеток выражается через расход воздуха ($\text{л/дм}^2/\text{мин}$ при давлении 20 мм водяного столба), и у хороших полипропиленовых салфеток он составляет около $500 \text{ л/дм}^2/\text{мин}$. Одним комплектом хлопчатобумажных салфеток можно профильтровать около 150 варок, а комплект салфеток из полимерных материалов заменяют иногда лишь через 400-800 варок. Жесткая (гидрокарбонатная) вода и внесение хмелевого отстоя после окончания затирания снижают срок службы салфеток. Очистка хлопчатобумажных салфеток и некоторых синтетических тканей должна производиться после каждой варки в специальной моечной машине, которую следует размещать в непосредственной близости от фильтра и на одной с ним высоте. Очистка новых видов салфеток из полимерных материалов требуется лишь через 30-40 варок. При разгрузке фильтра их освобождают от дробины простым встряхиванием. После выгрузки дробины последней варки фильтрационные салфетки промывают струей холодной воды, затем закрывают фильтр на 3-4 ч и прокачивают 1,5-2 %-ный раствор едкого натра с добавкой фосфатов (150 г/г/л) при температуре 70-80 °С. В заключение в освобожденный фильтр закачивают воздух и интенсивно промывают от остатков дробины с двух сторон под высоким давлением в специальных ёмкостях.

Салфетки из искусственного волокна дают первое сусло существенно более

мутное — осветление достигается лишь при подаче промывных вод. Вместе с тем они позволили автоматизировать очень трудоемкие операции открывания и опорожнения заторных фильтров. На концах фильтра находятся две торцевые панели. Та из них, которая находится в месте подачи затора, неподвижна, а другая подвижна и перемещается так же, как рамы и плиты. Узлы фильтра герметизируются обычно с помощью гидравлического зажимного устройства. Небольшие фильтры открываются вручную, что требует много времени. Применение автоматических разжимных устройств позволило сократить потребности в рабочей силе и продолжительность этой операции.

2.4.5.5. Прочие вспомогательные устройства. Подводящая труба от заторного чана к фильтр-прессу для предотвращения расслоения затора не должна иметь очень большого уклона и слишком крутых изгибов. Обычно она подводится к фильтр-прессу сверху. При большой засыпи затор загружают одновременно в два или три фильтра. Условием равномерного заполнения фильтр-прессов является строго симметричная прокладка трубопроводов. При закрытом процессе фильтрования отфильтрованное сусло попадает в сборный канал, соединенный с куполообразной емкостью, расположенной на высоте не ниже верхнего края канала для затора, а на современных фильтрах — даже на 50-70 см выше, чтобы создать небольшое противодавление. Очень важным элементом является устройство для удаления воздуха из камер, включаемое вручную или автоматически. Смеситель для промывной воды с расходомером и термометром предназначен для измерения расхода промывных вод. Кроме того, в закрытых системах требуется устройство

для измерения содержания экстракта в стекающем сусле. В простейшем случае — это проточный цилиндр с сахарометром, причем сусло подается на сахарометр снизу, а в современных фильтр-прессах проводится измерение плотности. При возврате пробной струи следует сесть за тем, чтобы в систему не попал воздух. Кроме того, необходимы манометры для контроля режимов давления внутри фильтра, а также приемная емкость для дробины с транспортером.

2.4.6. Процесс фильтрования в фильтр-прессе (майш-фильтре)

Перед фильтрованием необходимо провести подготовительные работы по сборке пресса и зажатии плит и камер. При работе с перерывами или перед проведением первой варки раз в неделю фильтр рекомендуется предварительно нагреть горячей водой (расход воды на 5 т засыпи составляет около 80 гл).

2.4.6.1. Заполнение фильтра следует производить однородным материалом, так как в противном случае последующее выщелачивание в ходе отдельных процессов фильтрования окажется невозможным. Для выполнения этого требования воздух при заполнении фильтра должен удаляться через краны или через центральный вентиляционный канал. Затор, заполняющий фильтр, должен обладать абсолютно одинаковыми свойствами и не должен расслаиваться. Он должен вытекать из заторного чана в виде гомогенной смеси и в том же виде попадать в каждую камеру, что возможно только при условии эффективной работы мощного органа и наличия конического или сводчатого днища, препятствующих

оседанию затора. Большое значение для однородности затора имеют также свойства помолы. Расход затора при его перекачивании составляет обычно 1,5-2 м/с и не должен изменяться в трубопроводах. Чтобы добиться по возможности равномерного распределения затора в крупных фильтрах, проводится дросселирование кранов, обычно расположенных рядом с местом поступления затора. В закрытых централизованных системах фильтрации сусло начинает стекать лишь после того, как будет превышен уровень верхней фильтрационной трубы (перелива).

Заполнение должно происходить так, чтобы давление в фильтре было по возможности минимальным. Так, например, в начале перекачивания насос можно включить на полную мощность до тех пор, пока «не потекут» все краны, после чего производительность насоса снижают примерно на 20 % до тех пор, пока фильтр не заполнится, то есть пока затор не выступит в канале для удаления воздуха. К концу слива затора число оборотов насоса постепенно увеличивают до первоначального значения. В обычных условиях избыточное давление не должно превышать 0,3 бара; следствием слишком быстрого повышения давления является сильное спрессовывание дробины, которая слишком уплотняется и выщелачивается неравномерно. Большое значение при этом имеет качество помолы, которое следует подобрать таким образом, чтобы объем дробины соответствовал емкости фильтра (см. раздел 2.2.1). Использование слишком грубого помола требует более высокого давления для перемещения дробины в фильтр, в результате чего сопротивление дробины повышается, выщелачивание затрудняется, а продолжительность фильтрования увеличивается. При этом возникает риск

разрыва салфеток. Вместе с тем помол не должен быть слишком тонким, так как содержащаяся в нем мука из оболочек не только засоряет фильтровальные салфетки, но и отрицательно влияет на качество пива. Содержание мелкой пудры не должно превышать 18 %. Из слишком тонкого помола получается очень небольшой объем дробины, которым невозможно заполнить камеры майш-фильтра.

Для изменения в определенных пределах емкости фильтра и приспособлять ее к тем или иным условиям, иногда вставляют или удаляют лишние плиты.

Заполнение фильтра длится 25-35 мин. При наличии отдельных кранов фильтрование первого сусла начинается сразу, а при центральном сливе — после заполнения фильтра. Заканчивается фильтрование одновременно с окончанием перекачивания затора. Изначально мутное сусло не возвращалось в заторный чан во избежание разжижения находящегося там затора. Кроме того, в мутном сусле в достаточном количестве присутствуют мельчайшие частицы мути, которые изменяют гомогенность оставшегося сусла и тем самым вызывают изменение консистенции содержимого камер, находящихся рядом со впускным отверстием для затора. В результате происходит снижение выхода. При высоком давлении в фильтре целесообразно перекачивать затор из канала для удаления воздуха, чтобы тем самым излишне не менять производительность насоса. При использовании плохо растворенного солода или несоложенных материалов продолжительность фильтрования не изменяется (или меняется незначительно). Высокая скорость фильтрования обусловлена большой площадью фильтрации. Благодаря тому, что процессы перекачивания затора и фильтрования первого сусла совпадают

по времени, и тем самым отпадает необходимость выдерживания пауз или перекачивания мутного сусла, то по сравнению с фильтр-чаном выигрыш во времени составляет 60-90 мин.

По окончании перекачивания заторный чан и трубопроводы очищают от дробины и остатков сусла путем промывки горячей водой. Для обеспечения полного стекания первого сусла все краны оставляют открытыми еще в течение примерно 5 мин. В традиционных конструкциях заторного фильтр-пресса с полипропиленовыми салфетками эту технологию можно модернизировать следующим образом. Фильтрация является закрытым уже для первого сусла. При перекачивании затора сусло начинает стекать лишь после заполнения камер, то есть когда уровень сусла в идущей вверх фильтрационной трубе превысит уровень в канале для затора. Благодаря этому дробина плотно прилегает к поверхности салфетки и образует рыхлый фильтрующий слой. Если фильтрационную трубу приподнять, например, на 50 см выше верхнего края фильтра, то образуется незначительное противодавление, способствующее более равномерному распределению затора. Большое значение имеет удаление воздуха из камер в каждой фазе перекачивания. После заполнения камер удаление воздуха следует периодически. Вопреки существовавшим раньше мнениям еще очень мутное сусло в начале процесса в течение 2-5 мин перекачивают обратно в заторный чан, благодаря чему мутность снижается примерно на 50 %, а содержание твердых частиц — на 15-20 %. Потеря выхода экстракта при прочих оптимальных условиях не происходит.

По такой технологии перекачивание затора происходит относительно быстро,

примерно за 30 мин. Этим способом пытаются получить более равномерное распределение затора. Так как сусло начинает поступать примерно через 7 мин, а еще 2-3 мин мутное сусло перекачивается обратно, то стекание первого сусла заканчивается приблизительно через 20 мин. Если салфетки чистые, а засыпь или распределение помола сбалансированы, то избыточное давление не превысит 0,3 бар даже без снижения производительности насоса.

2.4.6.2. Выщелачивание дробины в фильтр-прессе осуществляется с той же скоростью, что и в фильтр-чане. В противном случае существует риск неравномерного вымывания сусла из отдельных лепешек дробины. При этом вода проходит в обратном по сравнению с суслом направлении — она поступает из канала для подачи воды в плиты, последовательно проходит через салфетку и слой дробины и через салфетку следующей плиты достигает фильтрационного крана. Сусло стекает только через каждый второй кран, так как все промежуточные краны, расположенные между ними, закрыты. Как правило, сусло, стекающее из фильтр-пресса, даже более прозрачно, чем сусло из фильтр-чана. Промывание дробины осуществляется сверху или снизу. Более распространен последний вариант, однако выщелачивание наиболее эффективно только в том случае, если каналы подачи воды расположены на стороне, противоположной сливу сусла. Отведение сусла производится или через фильтрационные краны, или через универсальный кран, установленный на подвижной торцевой стороне, при этом все фильтрационные краны закрыты или переключены на центральный канал для сусла. Этот канал соединен с куполом, который позволяет

создать небольшое противодействие и гарантирует полное заполнение фильтр-пресса.

Избыточное давление в фильтре в начале фильтрования промывных вод не должно превышать 0,3-0,4 бар, однако в процессе фильтрования оно повышается до 0,8-1,0 бар. Этому значения не следует превышать, хотя для старых хлопчатобумажных салфеток это может потребоваться (от 0,7 до 1,5 бар). Более высокое давление приводит к образованию каналов в фильтрационных лепешках и тем самым к неравномерному выщелачиванию дробины. Процесс промывания дробины можно контролировать на отдельных фильтрационных кранах. Так как в камерах, расположенных с противоположной от подачи затора стороны, наблюдается повышенная концентрация последней промывной воды, то в них следует более интенсивно подавать промывную воду. Эти различия вызваны неравномерным заполнением камер. Так как уровень последней промывной воды в фильтр-прессе всегда немного выше, чем в фильтрационном чане, то имеющееся количество воды для промывания дробины обычно используется полностью. Остатки последней промывной воды удаляют подачей сжатого воздуха. На фильтрование промывных вод в фильтр-прессе требуется 90-100 мин, и, таким образом, общая продолжительность фильтрования составляет около 120-130 мин.

Выщелачивание дробины можно улучшить путем специального вытеснения первого сусла из камер фильтр-пресса, плавным повышением расхода воды и, наконец, за счет поддержания постоянной продолжительности фильтрования. При фильтровании сусла для получения более крепкого экспортного пива количество воды по сравнению с суслом для

лагерного пива сокращается. В этом случае благодаря снижению скорости фильтрации и поддержанию постоянной продолжительности фильтрования можно добиться соответственно более глубокого выщелачивания. Для получения большего объема воды зачастую также используют высокую концентрацию первого сусла (например, на уровне 20 %).

Распространенная в настоящее время технология предусматривает начало фильтрования промывных вод при закрытом фильтровании лишь после того, как произойдет вытеснение первого сусла из пространства между салфетками и плитками для подачи воды, которая подается сверху. Только после этого сток промывных вод проходит с возрастающей скоростью. Для достижения по возможности равномерного выщелачивания дробины необходимо, как показано выше, противодействие не менее 500 мм вод. ст., создаваемое за счет подъема фильтрационной трубы. Для создания более высокого противодействия в трубе для стекания сусла необходима задвижка. Так как в промывной воде может содержаться воздух, его необходимо периодически удалять так, чтобы заполнение системы всегда поддерживалось на уровне верхнего края камер.

Одна из систем фильтрования позволяет промывать дробину в противоположном направлении после каждой варки, то есть камеры для воды при фильтровании одной варки становятся при фильтровании следующей варки камерами для сусла и т. д. Преимуществом такого способа является то, что полипропиленовые салфетки не испытывают односторонних деформаций.

2.4.6.3. При *разборке фильтра* необходимо проверить состояние отдельных

фильтрационных лепешек, что позволяет определить степень заполнения камер. На разборку и сборку фильтра на 2 т засыпи двое рабочих затрачивают около 40 мин. Автоматическое разжимное устройство за то же самое время позволяет обслуживать фильтр на 5-6 т, а фильтр на 10-12 т засыпи с не требующими замены фильтрующими салфетками из полимерных материалов один рабочий снаряжает примерно за 30 мин.

2.4.6.4. Качество фильтрования в фильтр-прессе, как правило, несколько хуже, чем в фильтр-чане, поскольку при почти повсеместном использовании фильтрационных салфеток из полимерных материалов первое сусло всегда остается мутным, а первый долив осветляется очень медленно (правда, затем получается совершенно прозрачное сусло). Содержание твердых частиц в отфильтрованном сусле колеблется в зависимости от технологии и размера пор фильтровальных салфеток от 800 до 450 мг/л, причем при использовании насосов для мутного сусла эти показатели снижаются на 15-20 %. В зависимости от мутности сусла йодная реакция при кипячении сусла усиливается.

При верхнем заполнении камер отмечается поглощение воздуха, так как находящийся в камерах воздух улетучивается под действием турбулентности затора. При известных условиях воздух проникает в сусло через устройство измерения экстрактивности. Существенному поглощению кислорода способствует наличие кислорода в промывных водах, содержание которого при закрытых накопителях горячей воды в верхних точках трубопровода (несмотря на высокие температуры) может составлять 8-10 мг/л. В принципе работа с противодавлением

исключает поглощение воздуха и способствует его удалению из фильтра. Окисление сусла может происходить также при продувке заторного фильтр-пресса воздухом в конце процесса фильтрования, когда воздух попадает в сушеварочный котел. В этом случае успешно изменяют подачу последней промывной воды, полученной при прессовании дробины, в небольшую емкость и подмешивание ее через 10-15 мин (после подъема пузырьков воздуха) к кипящему суслу. В хорошо отрегулированных заторных фильтр-прессах поглощение кислорода составляет 0,2-0,5 мг/л.

2.4.6.5. Преимуществом фильтр-пресса является его независимость от качества солода или количества несоложенного сырья. Он гарантированно обеспечивает 8-9, а порой и 10 варок/сут. Выход экстракта при переработке солода средней и хорошей растворимости примерно на 0,7 % ниже лабораторного выхода экстракта, и тем самым выше выхода экстракта для фильтр-чана (при этом многое зависит от конструкции фильтра, свойств фильтровальных салфеток и качества помола). Засыпь, рассчитанная на равномерное заполнение камер, остается постоянной, но путем использования пустой плиты в варках небольшого объема или при слабой концентрации часть площади фильтра можно отключить. Зачастую главный налив рассчитывают без запаса (концентрация первого сусла 20-21 %), чтобы получить больше воды для выщелачивания дробины. Это не вызывает опасений с точки зрения качества, так как короткая продолжительность фильтрования компенсирует возможное влияние на содержание полифенолов. Высокие эксплуатационные затраты, обусловленные использованием хлопчатобумажных

фильтровальных салфеток и их коротким сроком службы, а также затратами на промывание и рабочую силу, при работе с салфетками из полимерных материалов и применении частичной автоматизации настолько снизились, что экономические показатели фильтр-пресса и фильтр-чана при одинаковом количестве выработанного сусла в сутки примерно сравнялись. Описанный выше заторный фильтр-пресс можно автоматизировать. При опорожнении фильтра сжатым воздухом количество сточных вод составляет менее 1 гл/т засыпи при условии добавления к дробине воды, отделяемой при транспортировке дробины.

2.4.7. Фильтр-пресс нового поколения

Принцип действия таких фильтр-прессов основан на переработке порошкового помола при увеличении площади фильтра, то есть на работе с более тонким слоем дробины, а также на использовании пневматического прессования фильтрационной лепешки. Плиты или камеры фильтра имеют размер 1800 x 2000 мм; толщина фильтровальной лепешки составляет около 40 мм, что дает удельную засыпь 35 кг/м² (вместо 55-60 кг) площади фильтра. Рама фильтра разделена двумя эластичными (полимерными) мембранами на две части. Эти мембраны позволяют обеспечить легкое прессование фильтровальной лепешки после стекания первого сусла и более сильное — в конце процесса выщелачивания. Фильтрующие плиты покрыты фильтровальными полипропиленовыми салфетками. Заполнение фильтра осуществляется снизу, а промывание дробины — также снизу через канал для затора.

Используется порошковый помол, характеристики которого приведены в разделе 2.2.1 (в зависимости от состояния дробилки (молотков, сит) они могут немного колебаться).

2.4.8. Фильтрация на новых заторных фильтр-прессах

2.4.8.1. Заполнение фильтра осуществляется насосом с плавной регулировкой частоты. При этом создают небольшое противодавление (1-1,5 м водяного столба). Чтобы заполнить камеры по возможности быстро и равномерно, насос должен работать с максимальной производительностью. Благодаря нижней подаче происходит равномерное повышение уровня затора и вытеснение воздуха из объема камер. Как только сусло достигнет буферной емкости, размещенной на выпуске фильтра, или установленного в ней уровня (в течение примерно 4 мин), начинается (как и в традиционном фильтре) собственно слив первого сусла. Заметное вначале помутнение быстро уменьшается благодаря намыву мельчайших частиц дробины на салфетку (тем самым отпадает необходимость в откачивании мутного сусла). Первое сусло осветляется до 7-10 ед. ЕВС. Длительность фильтрации составляет 21-24 мин. Затем проводят непродолжительное промывание трубопровода для затора горячей водой. Сжатие при избыточном давлении около 0,5 бар занимает почти 6 мин, при этом количество первого сусла увеличивается приблизительно на 10%. Концентрация первого сусла не должна превышать показатели традиционного фильтр-пресса (для варок пива с массовой долей сухих веществ в начальном сусле 11,5-12 % она может составлять 17,5-18 %).

2.4.8.2. *Фильтрованию промывных вод* предшествует заполнение камер дробинной, которую сначала спрессовывают, а потом снимают давление (продолжительность — около 5 мин); затем примерно 5 мин ведут перекачивание при постоянном избыточном давлении на входе фильтра 0,5 бар и около 50 мин — при постоянном расходе, составляющем около 15% максимальной производительности насоса. Эти методы позволяют добиться по возможности равномерного выщелачивания. Сжатие дробины осуществляется дважды; сначала под давлением 0,4-0,5 бар, затем 0,5-0,6 бар. Из 3,7 гл главного налива/нем. ц получается 2,3 гл первого сусла с экстрактивностью около 17,2 %; количество промывных вод составляет примерно 3,2 гл/нем. ц, что позволяет получить концентрацию последней промывной воды около 1 %, из которой после сжатия образуется 0,5 %-ный вымываемый экстракт сырой дробины (в пересчете на влажность 80 %). Сжатие нивелирует отклонения в составе экстракта, неизбежно возникающие в вертикальных слоях. Тем самым дробина выщелачивается очень равномерно и осушается до влажности около 70 %. Обе фазы сжатия длятся 4 и 3 мин.

2.4.8.3. *Разгрузка и мойка фильтра.* Выгрузка дробины продолжается около 10 мин, при этом излишнее снижение влажности дробины затрудняет ее удаление. В случае правильного проведения фильтрования дробина хорошо отделяется от салфеток, однако необходимо контролировать, насколько полно выполнена разгрузка и при необходимости принять соответствующие меры. Сточные воды образуются лишь в том случае, если необходимо смыть остатки дробины, а также при мойке фильтра, которая требуется через

24-30 варок. Мойку проводят после смыва остатков дробины 2 %-ным раствором едкого натра с добавлением фосфатов при температуре 80 °С; раствор прокачивают со скоростью, составляющей 2/3 скорости промывания дробины (в общей сложности — около 1,5 ч). Затем фильтр нейтрализуют 0,5 %-ным раствором холодной кислоты в течение 15 мин. Последнюю операцию мойки проводят путем ручного опрыскивания фильтровальных салфеток водой под низким давлением. Таким образом, общая продолжительность мойки составляет 4-5 ч.

2.4.8.4. Короткий контакт сусла с водой и дробинной оказывает на *качество фильтрования* положительное влияние. Некоторым недостатком является тонкое измельчение зерна солода, особенно оболочек.

Осветление сусла, за исключением сусла в начале фильтрования, которое из-за его относительно небольшого количества не возвращается, довольно хорошее (7-10 ед. ЕВС), лишь при повторном насыщении сжатой дробины водой отмечается помутнение до 40 ед. ЕВС, а затем прозрачность стекающих промывных вод составляет около 5 ед. ЕВС. Содержание твердых частиц составляет 20-50 мг/л (в зависимости от свойств помола и условий хранения), вследствие чего увеличение йодного числа при кипячении сусла минимально.

Содержание кислорода благодаря закачиванию затора снизу составляет 0,1-

0,2 мг/л и является очень низким, однако при использовании в качестве промывной воды недеаэрированной воды оно может достигать 0,7-1,5 мг/л. Подвод промывной воды в емкость от смесителя через тангенциальный ввод способствует

получению удовлетворительных показателей по удалению из воды кислорода.

2.4.8.5. Производительность фильтр-пресса составляет 12 варок/сут, то есть цикл фильтрования занимает 120 мин. При этом чистое время фильтрования составляет 95-100 мин, и после выгрузки дробины и сборки фильтра имеется небольшой резерв времени (5-7 мин). Проведение внеплановой мойки (например, после 24 варок) означало бы сокращение количества варок примерно на 2 варки каждые двое суток. Таким образом, операцию мойки и проведение фильтрования следует рассчитывать так, чтобы цикл фильтрования занимал одну неделю, то есть около 40-48 варок без промежуточной мойки.

Выход экстракта на 0,3-0,5 % ниже лабораторного, что объясняется тем, что из оптимального порошкового помола можно получить несколько более высокий лабораторный выход, чем из помола согласно стандарту ЕВС. Потери дробины в пересчете на сырую дробину влажностью 80% составляют 0,5-0,6 % вымываемого и 0,6-0,7 % растворимого экстракта, причем эти значения достижимы даже при варках с повышенной долей сухих веществ начального сусла (например, при массовой доле сухих веществ в горячем охмеленном сусле 14,8 %). Тем самым общие потери дробины составляют около 1,2 %. Заторный фильтр-пресс эксплуатируется в автоматическом режиме.

2.4.8.6. Преимущества и недостатки новых заторных фильтр-прессов. К преимуществам следует отнести более высокую производительность — до 12 варок/сут (при промежуточной мойке каждые двое суток — И варок), высокое и более равномерное выщелачивание, получение сусла с повышенной экстрактивностью

(о высокоплотном пивоварении см. главу 9), хорошее фильтрование, сопоставимое с современными фильтр-чанами, а также более благоприятное (по сравнению с фильтр-прессами старой конструкции) содержание кислорода, возможность эксплуатации практически без образования сточных вод и получение «сухой» дробины с влажностью чуть выше 65-70 %. Фильтровальные салфетки обычно выдерживают около 1000 варок.

К недостаткам можно отнести высокий расход энергии молотковой дробилкой и необходимость гомогенной засыпи. Как и в традиционных фильтр-прессах, объем камер определяет расход моющих средств и воды для ополаскивания.

2.4.9. Стрейнмастер

Это фильтрационное устройство представляет собой резервуар из нержавеющей стали с квадратной или прямоугольной формой днища высотой 3-5 м. Нижняя часть резервуара имеет коническую форму и через шибер соединена с бункером для дробины. В ней на 5-6 уровнях размещены фильтрационные трубы треугольного сечения с прорезями (их ширина в просвете 1 мм, а длина 13 мм). Общее количество этих прорезей таково, что суммарное живое сечение составляет 10 % поверхности. Фильтрующая поверхность при 6 т засыпи составляет 60 м². Ситовые элементы одного уровня подключаются к сборной трубе, сечение выпускного отверстия которой регулируется фильтрационным краном. Для повышения скорости фильтрования каждая зона фильтрования подсоединена к своему насосу с регулируемым числом оборотов. Нижняя часть конической зоны обычно подключена к одной трубе. Разрыхлитель отсутствует. Как и в заторном

фильтр-прессе, в стрейнмастере большую роль играет однородность затора, который в зоне фильтрующих элементов должен оставаться по возможности однородным. Это достигается за счет относительно более топкого помола, чем в обычных фильтр-чанах, но (после постепенной оптимизации) соответствующего состава помола, приведенному в разделе 2.2.1. Целесообразно провести кондиционирование солода. Концентрация затора поддерживается на уровне, обеспечивающем концентрацию первого сусла в 20-23%.

Перекачивание затора в стрейнмастер производится сверху через несколько распределительных устройств. После перекачивания 60 % затора начинается спуск и возврат мутного сусла. По окончании процесса фильтрования сусло стекает достаточно прозрачным. Для сохранения рыхлой структуры дробины первое сусло не должно опускаться до уровня ее поверхности, и поэтому во время спуска первого сусла при достижении им определенного уровня начинают промывание дробины водой (одновременно сверху и снизу).

При достаточно высокой установке емкостей первое сусло стекает самотеком, а поскольку фильтрование промывных вод осуществляется при подаче воды сверху и снизу, регулирование потоков выполняется на основании определения содержания экстракта в фильтрате, вытекающем из всех кранов (каждые 10 минут). Подача промывной воды автоматически регулируется. Когда в сусле из верхней зоны фильтрования содержание экстракта снижается до 2 %, подачу воды сверху прекращают, а снизу продолжают, но с большей скоростью. Как только содержание экстракта в сусле из верхнего фильтрующего элемента станет менее 1 %, этот элемент отключают. К концу

фильтрования экстракт в дробине распределяется сверху вниз по нарастающей. При достижении пороговой величины (содержание экстракта 1%) происходит отключение соответствующей системы. Процесс фильтрования длится около 70-80 мин.

Качество фильтрования в стрейнмастере несколько хуже, чем в фильтр-чане, так как стекания прозрачного сусла приходится ожидать до окончания перекачки. Промывание дробины, а также добавление отпрессованной воды и осадка взвесей сусла вызывают дополнительное помутнение, что отражается в среднем содержании твердых частиц около 250 мг/л. Поглощение кислорода вследствие подачи затора сверху и открытой фильтрации составляет около 1-2 мг/л, а при подключении подающего насоса для фильтрованного сусла оно несколько выше.

Выгрузка дробины осуществляется путем открывания заслонки и продолжается несколько минут. Так как дробина еще очень мокрая, при ее выгрузке и при последующем промывании объем сточных вод составляет 10-15 гл/т засыпи. Воду, отпрессованную на шнеке транспортера для дробины, нередко собирают, осветляют, проводят водоподготовку и повторно используют (см. раздел 2.3.4.3). При этом возникают потери дробины, составляющие иногда 10-15%. Промывание фильтрующих элементов стрейнмастера опрыскиванием следует проводить очень тщательно во избежание закупоривания ситовых отверстий.

Несмотря на большое количество воды, используемой для промывания дробины, полностью извлечь из нее экстракт удается не всегда. Разница между выходом экстракта в варочном цехе и конгрессным выходом экстракта в пересчете на ВСВ может составлять 1,5-2 %,

то есть она выше, чем в фильтр-прессе или фильтр-чане. Тем не менее высокая производительность стрейнмастера и возможность автоматизации его работы в ряде случаев вполне оправдывают его применение.

2.4.10. Непрерывные методы фильтрования

Непрерывные методы фильтрования еще не нашли широкого применения. На практике опробован разделенный на камеры *ротационный фильтр APV*, сходный с фильтр-чаном, но в котором предусмотрено выщелачивание в противотоке.

2.4.10.1. Вакуумный барабанный фильтр предназначен прежде всего для фильтрования затора, приготовленного из тонкого помола. Непрерывно извлекаемый затор в нем обрабатывается за один проход продолжительностью 20-30 мин. Тонкий фильтрующий слой дробины толщиной в несколько мм в сочетании с фильтрующим полотном из полипропилена (размер ячеек 80 мкм) при использовании вакуума позволяет получать только мутное сусло, требующее дополнительного осветления в центрифуге. Несколько улучшить осветляющее действие позволяет добавление кизельгура (около 100 г/гл).

2.4.10.2. В системе Pablo используются два горизонтальных сепаратора конической формы. Затор подводится к вершине конуса. После отделения сусла дробина перемещается в следующую часть кожуха центрифуги и по пути промывается водой. Дробина обрабатывается еще раз во втором сепараторе аналогичной конструкции после того, как она предварительно взмучивается с водой.

Стекающее сусло с промывной водой необходимо дополнительно осветлять с помощью центрифуги. Система повторного применения образующегося сусла невысокой плотности позволяет в конечном итоге использовать для выщелачивания дробины небольшое количество воды.

2.4.10.3. Декантеры предназначены для разделения твердых и жидких веществ, тем самым для переработки заторов с высоким содержанием твердых частиц (дробины из порошкового помола). В горизонтальном цилиндрикоконическом барабане центрифуги со шнеком затор под действием центробежной силы разделяется на дробину и сусло. При правильной регулировке сусло характеризуется удовлетворительным содержанием твердых частиц (около 100 г/мл), но повышенным содержанием ненасыщенных жирных кислот. Так как дробина еще имеет влажность 63-70 %, это позволяет получить приемлемый выход. Дальнейшая обработка полученного таким способом сусла не представляет особых проблем с получением вполне приемлемого пива.

Несмотря на оптимистичные результаты экспериментов системы непрерывного фильтрования еще не получили широкого распространения из-за появления в последние годы усовершенствованных фильтр-чанов или фильтр-прессов.

2.4.11. Сборник первого сусла

В зависимости от продолжительности затирания солода или перекачивания сусла, длительности фильтрования и кипячения сусла и тем самым общего времени работы сусловарочного котла или вирпула, может потребоваться дополнительная

емкость, в которую во время кипячения сусла предыдущей варки помещается отфильтрованное сусло. Этот сборник первого сусла изготавливают из обычных материалов в виде горизонтального или вертикального танка с теплоизоляцией. Его размеры должны соответствовать: при 4 ч перекачивания — количеству первого сусла, при 3,5 ч — количеству перекачиваемого материала, а при менее 3 ч — общему отфильтрованному объему («полному объему сусла, поступающего в варочный котёл»). При перекачивании в течение 2 ч 40 мин и менее сусло в сборнике необходимо нагреть до температуры 90–95 °С, чтобы не загружать на это время сусловарочный котел. Нагревание можно осуществлять при помощи соответствующих встроенных змеевиков, но лучше путем перекачивания сусла через теплообменник.

При реконструкции или новом строительстве варочного цеха вместо сборника, теплообменника и котла лучше смонтировать два сусловарочных котла, оснащенных внутренними кипяtilьниками. В случае использования внешнего кипяtilьника достаточно одного такого аппарата для попеременного нагревания сусла в обоих котлах. При этом отпадает необходимость в перекачивании сусла, которое зачастую приводит к неконтролируемому поглощению кислорода. Установлено, что для сусла, находящегося в дополнительном резервуаре, наиболее благоприятна температура 75–78 °С. Нагревание до температуры кипения следует вести 40–60 мин; оно не должно проходить слишком быстро, так как в этом случае происходит усиление окрашивания сусла.

Если имеется горячая вода температурой около 98 °С, то при перекачивании из сборника в котел сусло нагревают при-

мерно до 95 °С в теплообменнике. Как правило, эта операция занимает не более 20 мин.

2.5. Кипячение и охмеление сусла

Полученное в результате фильтрования сусло кипятят, добавляя к нему хмель в той или иной форме. Цели кипячения сусла с хмелем состоят в испарении избыточной воды для получения нужной концентрации сусла, в инактивации ферментов, в стерилизации сусла, максимальной коагуляции белков в виде взвесей горячего сусла («бруха») и, наконец, в растворении в сусле ценных компонентов хмеля, прежде всего горьких веществ. При этом возникают такие побочные явления, как образование редуцирующих веществ и испарение летучих ароматических веществ. Изменения повышения цветности и кислотности легко контролируются.

2.5.1. Сусловарочный котел

Кипячение сусла, как и затора, производят в специальных резервуарах — сусловарочных котлах.

2.5.1.1. Вместимость сусловарочных котлов составляет приблизительно 9 гл/100 кг за- сыпи солода (для приготовления 12 %-ного пива), а заторных котлов — 4–5 гл. В небольших варочных цехах затор и сусло варят в одном котле, при этом нагревательные поверхности следует рассчитывать так, чтобы обеспечить и кипячение небольших частей затора (около 1 гл/100 кг) без подгорания твердых частиц, и всего объема сусла, составляющего 7–7,5 гл/100 кг за- сыпи. В котлах, рассчитанных без запаса.

эффективность кипячения может оказаться проблематичной; кроме того, существует опасность того, что сусло окажется перекипяченным.

2.5.1.2. Котлы изготавливают из стали, нержавеющей стали или меди. Нередко нержавеющую сталь применяют для плакирования стальных листов. Хотя теплопроводность меди на 30 % выше, чем у стали, ионы Cu^{2+} могут неблагоприятно влиять на качество и стойкость пива.

2.5.1.3. Форма днища котлов может быть круглой и прямоугольной. Стенки котлов (царги) из стального листа плоские, а у котлов из меди обычно выпуклые.

2.5.1.4. Отношение высоты слоя жидкости к диаметру должно составлять примерно 1 : 2, что позволяет установить необходимые поверхности нагрева и легко отводить образующийся водяной пар. Чем меньше диаметр и чем глубже котел, тем меньше испарение.

Одним из важнейших узлов котла является *контур обогрева*. Различают прямой обогрев открытым пламенем и кипячение с помощью паровых или водяных рубашек.

2.5.1.5. Котлы с прямым обогревом старой конструкции обмуровывают, а топочные газы по системе дымоходов направляют вдоль стенки котла. Чтобы исключить пригорание затора или перегрев боковых стенок в случае недостаточного заполнения котла, эти дымоходы, особенно у заторных котлов, не следует располагать слишком высоко.

2.5.1.6. В котлах, обогреваемых мазутом, применяют так называемую стальную топку, которая легче регулируется

благодаря меньшему объему обмуровки и КПД которой приближается к общему КПД установок с косвенным обогревом. Хорошо зарекомендовал себя обогрев газом. Отходящее тепло таких систем обогрева целесообразно использовать в теплообменниках для получения горячей воды.

2.5.1.7. Котлы с паровым обогревом имеют двойное дно или каналы, выполненные в форме половинок труб или профилей, или нагревательные элементы в виде внутренних или внешних кипяtilьников.

Система нижнего обогрева или обогрева боковых поверхностей конструктивно выполняется обычно в виде двух зон, причем во внутреннюю зону подводится пар большего давления (острый пар). Отношение площади внешней нагревательной поверхности к внутренней смещается с увеличением объема котла в сторону внешней поверхности. Обычно оно составляет 3 : 1, но для очень больших котлов (на 10 т засыпи) может измениться до 5 : 1. У так называемых высокопроизводительных котлов днище конусообразные и подняты так высоко, что создаются благоприятные условия для испарения и движения сусла при кипячении изнутри наружу, как у котлов с прямым обогревом. Для получения более плотного сусла может потребоваться разделение внутренней поверхности нагрева. У таких котлов пар или горячая вода для обогрева подается в расположенные по спирали и приваренные снаружи полутрубы или профильные элементы.

Для обеспечения эффективного кипячения в таких котлах большое значение имеет удаление воздуха из поверхностей нагрева, особенно в случае использования

двойных днищ, а также правильный расчет размеров устройств для отвода конденсата.

В котлах с прямоугольным днищем необходимые поверхности нагрева создаются намного проще. Встречаются также котлы с овальным или трапециевидным поперечным сечением.

Внутренний кипятильник в своем первоначальном виде представлял собой систему жестких или подвижных труб, которые необходимо проложить как можно глубже, чтобы имелась возможность нагрева всех слоев затора или сусла. Змеевики должны быть всегда покрыты жидкостью. Скорость вращения подвижных нагревателей невелика (6-10 об/мин). В основе современных внутренних нагревательных элементов положена конструкция применявшихся ранее дополнительных кипятильников. Они имеют форму цилиндров, смонтированных по отдельности или собранных в пакет. В одной из конструкций они расходятся «звездой» от центрального элемента, а в другой нагревательные трубы установлены в «стакан», образованный в днище котла. Аналогичная система используется для обогрева заторных котлов. Для таких кипятильников, работающих обычно без дополнительного обогрева днища, важно, чтобы их диаметр находился в строго определенном соотношении с диаметром котла. Если он слишком большой, то фонтанирование кипящего сусла не убывает вплоть до периферии, и возникает опасность перегрева, то есть поверхность обогрева будет использоваться не полностью. Если диаметр котла слишком мал, то в некоторых случаях существует риск недостаточного охвата периферийных зон сусла.

Современные внутренние кипятильники представляют собой или «откры-

тую» систему, в которой трубы размещены по кругу или в два ряда вокруг центра котла, образуя своего рода «обойму», или пучок труб, на котором установлен так называемый «подпорный конус» с короткой трубой, направляющий смесь из сусла и пузырьков пара на регулируемый обтекаемый экран. Такая конструкция позволяет добиться требуемого равномерного распределения сусла. Температура над кипятильником не должна превышать температуру сусла в котле более чем на 2 °С. В небольших котлах размер поверхностей нагрева подбирают так, чтобы они могли работать при очень низкой температуре теплоносителя. В «закрытых» системах чем ниже температура теплоносителя (пара или горячей воды), тем лучше.

Внешние кипятильники — это системы из пучка труб или пластин из меди или нержавеющей стали, смонтированные рядом с сусловарочным котлом. Хотя в кипятильниках с ламинарным течением возникает термическая циркуляция, для полной и равномерной загрузки поверхностей нагрева важен подающий насос. Так как в этом случае при термической циркуляции устанавливается более низкая скорость потока в системе, что приводит к блокированию кипятильника, за счет многократного изменения направления потока жидкости стремятся достичь скорости 2,5-2,7 м/с, благодаря чему интервал между двумя мойками увеличивается до 16-24 варок. В зависимости от температуры теплоносителя и сусла, а также требуемой степени испарения подающий насос должен обеспечивать от 8 до 12 перекачиваний содержимого котла в час, а при использовании компрессионного вторичного пара — от 10 до 24 перекачиваний. Давление в самом кипятильнике относительно

сусловарочного котла регулируется редукционным клапаном в зависимости от требуемой температуры (101-108 °С). Сусло поступает после кипятильника в котел по рассчитанному с запасом трубопроводу в центре (через сопло с напорной трубой и экраном) или тангенциально на уровне полного заполнения котла, желательно под углом 23° к стенке котла. Последний вариант обеспечивает более равномерную обработку сусла. В зависимости от температуры теплоносителя (120-135 °С) площадь поверхности нагрева составляет соответственно 15 и 10 м²/100 гл, а для сжатого вторичного пара (103-110 °С) - 165 и 40 м²/100 гл. Таким образом, потребляемая мощность циркуляционного насоса при указанной выше производительности варьирует от 5,5 до 15 кВт.

При помощи внешних кипятильников можно попеременно обогревать несколько котлов, а при наличии соответствующего количества изолированных емкостей они могут выполнять для одной варки роль сборника первого сусла, котла и, наконец, вирпула (см. раздел 2.7.7.). Такую компоновку можно реализовать и с внутренними кипятильниками, но в этом случае каждую емкость необходимо оснащать отдельным кипятильником.

2.5.1.8. Отведение водяного пара в круглых котлах с обтекаемым колпаком осуществляется под воздействием естественной тяги. В других конструкциях, а также при наличии испарительных конденсаторов для отвода испаряющейся влаги необходим вентилятор соответствующей производительности. Возврата испарительного конденсата, например, через приемные каналы с отводящим трубопроводом, следует избегать.

2.5.1.9. Месильные органы для заторных котлов являются обязательными, а при прямом обогреве они оборудуются цепью для предотвращения пригорания затора. Окружная скорость составляет около 3 м/с, исходя из которой рассчитывают число оборотов при заданной длине лопасти. Для обеспечения возможности работы с разными объемами затора и выполнения разных задач (нагрева, пауз, кипячения) скорость вращения должна регулироваться (см. раздел 2.3.2.8).

Для суловарочных котлов месильные органы не обязательны, однако при обогреве днища и вертикальных поверхностей, особенно при нагревании до кипения в случае прямого обогрева их наличие желательно (для улучшения теплоотдачи и предотвращения окрашивания сусла).

Котлы для кипячения сусла под давлением рассчитаны на избыточное давление до 1 бар. Они допускают варку сусла при температурах до 120 °С, но в настоящее время обычно применяют температуры 102-104 °С (температура во внутренних или внешних кипятильниках несколько выше (на 1,5-2 °С). Такие котлы должны быть оборудованы предохранительными клапанами, герметичными смотровыми люками и закрывающимися заслонками вытяжной трубы.

Установки непрерывного кипячения сусла включают в себя два теплообменника для нагревания сусла и понижения температуры образующегося вторичного пара до 87 или 107 °С, а также нагревательное устройство, поддерживающее необходимую температуру реакции около 130 °С. Температура кипения поддерживается в течение 2,5-3 мин, а затем происходит сброс давления в двух последовательно соединенных выпарных

аппаратах, и температура падает до 117 и 100 °С. В такой системе сусло подается на вирпул, а в другой технологии применяется еще один сброс давления пара в вакуумном аппарате при температуре 50 °С. Испарение в этих конструкциях составляет 6-8 %.

2.5.2. Испарение избыточной ВОДЫ

При фильтровании первое сусло оказывается слишком сильно разбавленным промывными водами, необходимыми для более полного вымывания дробины. Чтобы получить требуемое значение конечной концентрации сусла в течение определенного времени кипячения, до последнего времени считалось необходимым поддерживать испарение около 8-10 % в час от объема охмеленного сусла. Более высокая степень испарения не оправдана, так как для хода описываемых далее превращений необходимо соблюдение определенной продолжительности кипячения, зависящей от температуры. При традиционном способе кипячения с использованием обогрева днища его продолжительность составляет 90-100 мин, но в современных системах продолжительность кипячения существенно меньше. Интенсивное испарение, которое представлялось необходимым, например, для получения крепкого пива, оказалось не оправданным по технологическим соображениям, а также с точки зрения энергетических затрат. Так называемый порог рентабельности последней промывной воды составляет около 2 % (см. раздел 2.3.2.4), из-за чего не допускается повышенный расход энергии. Следствием слишком большого сокращения испарения может стать недостаточное удаление ароматических

веществ. Все такие мероприятия должны быть сбалансированы с учетом типа системы кипячения сусла и типа производимого нива.

Испарение сусла и воздействие температуры кипения сопровождается целым рядом дополнительных явлений, которые, как и во многих других процессах, оказывают влияние на ход всего процесса пивоварения и до некоторой степени ограничивают и затрудняют его течение.

Во время кипячения происходит *разрушение ферментов* солода и тем самым — фиксация соотношения содержащихся в сусле веществ. Кроме того, *сусло стерилизуется*. Все микроорганизмы, попавшие в сусло из солода, воды, а также внесенные с подкислителем, уничтожаются. Для достижения необходимой инактивации ферментов продолжительность кипячения может быть короче.

В процессе кипячения *значение рН сусла* снижается на 0,15-0,25, что обусловлено добавлением горьких кислот хмеля, образованием меланоидинов, и, в первую очередь, кислотным действием ионов кальция и магния, а также осаждением щелочных фосфатов.

Цветность сусла при кипячении увеличивается. Степень окрашивания зависит от продолжительности кипячения (1-1,5 ед. ЕВС в час), от температуры теплоносителя, особенно в «закрытых» системах, от температуры самого сусла, от его значения рН, от количества хмеля и хмелевых препаратов, содержащихся в них дубильных веществ, от содержания образовавшихся ранее красящих веществ, от содержания в солоде полифенолов, а в сусле — кислорода. При фильтровании с доступом воздуха степень окрашивания может увеличиться вдвое.

2.5.3. Коагуляция белка

Особенно важным изменением сусла в процессе кипячения является выпадение белковых веществ в осадок. Первоначально прозрачное сусло в начале кипячения становится сначала непрозрачным и мутным. В процессе кипячения сусла вещества, выделившиеся сначала в виде очень тонкой взвеси, взаимодействуют друг с другом, образуя более грубый и объемный осадок. Выделившиеся в виде хлопьев вещества представляют собой в основном коагулируемые белки, которые называют «брух» или «взвеси горячего сусла».

Эти процессы осветления имеют большое значение для полноты, гармоничности вкуса и стабильности пива. Недостаточная коагуляция белков не только ухудшает эти свойства, но и оказывает косвенное влияние путем обволакивания дрожжей во время главного брожения и дображивания. Именно недостаточное снижение значения pH при брожении ухудшает последующее выделение белков при брожении, приводит к снижению степени сбраживания, худшему осветлению и, наконец, к появлению у пива «белковой горечи». Слишком глубокая коагуляция белка вызывает снижение содержания высокомолекулярных белковых соединений, что негативно сказывается на пенообразующих свойствах пива, полноте и округлости его вкуса.

Собственно процесс коагуляции протекает в две стадии: первая имеет преимущественно химическую природу и называется денатурированием, а во второй фазе (ее называют коагуляцией) протекают коллоидные, химические и физические процессы.

Азотсодержащие коллоиды сусла гидратированы, то есть окружены водяной

пленкой («эмульсоиды»), что в сочетании с электрическим зарядом придает им некоторую стабильность. При температурах кипения происходят межмолекулярные превращения, приводящие к разрыву водородных связей и, как следствие, к потере гидратационной воды. Эту дегидратацию можно усилить добавлением дегидратирующих веществ — таннинов, спирта, некоторых ионов, например, SO_4^{2-} , и тяжелых металлов. После дегидратации частицы еще поддерживаются в лабильном коллоидном состоянии («суспензоиды») благодаря своему электрическому заряду. В так называемой изоэлектрической точке, в которой положительно и отрицательно заряженные группы амфотерных белков нейтрализуют друг друга, дегидратированные молекулы особенно нестабильны и выпадают сначала в мелкодисперсной, а затем во все более грубой форме. Поскольку изоэлектрические точки у различных растворенных в сусле белков никогда не совпадают, то и образование белковых хлопьев не может проходить равномерно и в полной мере.

Согласно новым данным по денатурации молочного белка при нагревании сначала происходит расщепление водородных и образование дисульфидных мостиков. Высвободившиеся сульфгидридные группы соединяются с другими пептидами и белками. Этот тиолдисульфидный обмен можно стимулировать с помощью восстановителей или ингибировать агентами, способствующими блокированию сульфгидридных групп. Вопреки господствовавшему до последнего времени мнению полифенолы не оказывают прямого действия на выделение белков, так как соединение дубильных веществ с молекулами белков осуществляется с помощью водородных мостиков,

которые при высокой температуре нестабильны. Осаждающее действие полифенолов могло бы проявиться лишь при температуре ниже 80 °С, то есть к тому моменту, когда прозрачное сусло начинает мутнеть при охлаждении (см. раздел 2.7.3.2). Действие полифенолов на белковые вещества сусла до настоящего времени определялось аналитически только в сусле с температурой около 20 °С, причем анализу предшествовало осветление путем центрифугирования или грубой фильтрации. Значение полифенолов можно было бы объяснить их редуцирующими свойствами, препятствующими окислению сульфгидрильных групп, в результате чего они могут участвовать в тиолди-сульфидном обмене. Этим объясняется благоприятное действие высокого содержания полифенолов в сырье, что коррелирует с повышенной восстанавливающей способностью сусла. На осаждение белков положительное действие оказывают горькие вещества хмеля, которые вступают в соединение с ϵ -аминогруппами лизина; аналогичное воздействие оказывают редуцирующие группы продуктов реакции Майяра.

Оптимальное значение рН для осаждения белков составляет менее 5,2, но в нормальных условиях оно практически недостижимо. Хорошо растворенный солод или солод, отсушенный при очень высокой температуре, отрицательная остаточная щелочность пивоваренной воды (например, отношение карбонатной жесткости к некарбонатной жесткости 1:2-2,5) или биологическое подкисление сусла в сочетании с интенсивным кипячением поддерживают процесс выделения белков.

β -глобулин, вызывающий, как считается, образование помутнений в пиве, имеет изоэлектрическую точку при рН 4,9;

у него, как и у других участвующих в образовании помутнений компонентов, например, δ - и ϵ -гордеинов, для достижения более глубокого осаждения белков необходимы более низкое значение рН сусла и восстановительное действие дубильных веществ солода и хмеля.

Первая стадия образования взвесей горячего сусла в условиях кипячения сусла обычно протекает полностью, а вторая осуществляется не всегда, то есть белок выпадает в виде тонкой мути, не образуя хлопьев. Осадок взвесей горячего сусла не всегда бывает грубодисперсным — может оставаться слабая опалесценция, свидетельствующая о присутствии сравнительно большого количества белка, способного к коагуляции.

Показателем действия кипячения в горячем охмеленном сусле считается остаточное содержание коагулируемого азота, которое должно составлять от 1,8 до 2,2 мг/100 мл. Из физических факторов образования взвесей горячего сусла в первую очередь следует упомянуть *продолжительность кипячения*. При традиционном кипячении для получения низкого *остаточного содержания коагулируемого азота* вполне достаточно кипячения в течение 1,5-2 ч. В некипяченом сусле еще содержится в среднем 6 мг коагулируемого азота, снижение содержания которого приведено в табл. 3.13.

Таблица 2.13. Снижение содержания коагулируемого азота

Продолжительность кипячения, мин	0	30	60	90	120
Содержание коагулируемого азота, мг/100 мл	5,5	4,0	3,4	2,7	2,2

Выделение белка продолжается и при дальнейшем кипячении, однако происходящие при этом изменения незначительны.

Кроме того, для выделения взвесей горячего сусла в виде крупных хлопьев важен *способ кипячения*. Признаком интенсивного кипячения является очень быстрый отрыв образующихся на дне котла пузырьков пара, и подъем их на поверхность. Денатурированные белковые или белково-дубильные комплексы скапливаются на поверхности пузырьков пара и укрупняются. В результате происходит увеличение концентрации белковых веществ. Чем интенсивнее кипение, тем мельче пузырьки пара, тем больше их поверхность и, таким образом, сильнее взаимодействие частиц. На первой стадии кипячения сусло зачастую склонно к избыточному пенообразованию — это происходит до тех пор, пока не пройдет денатурация способных к коагуляции молекул.

В отличие от старых паровых котлов со сферическим обогреваемым дном, отличавшихся слабым кипением и неудовлетворительным испарением, производительность современных котлов с приподнятой внутренней поверхностью обогрева и обогреваемых мазутом котлов со стальной топкой вполне удовлетворительна. Хорошее кипение в них выражается определенной величиной почасового испарения, которое, как мы уже отмечали выше, должно составлять 8-10% (табл. 2.14).

Таблица 2.14. Почасовое испарение и содержание коагулируемого азота в современных котлах

Почасовое испарение, %	4	6	8	10
Содержание коагулируемого азота, мг/100 мл	3,2	2,6	2,1	1,7

Для увеличения интенсивности кипения и эффективности испарения в котлы устаревшей конструкции зачастую встраивают дополнительные кипяtilьники. С их помощью не только удается компен-

сировать недостатки этих котлов — по своей эффективности они часто превосходят даже высокопроизводительные котлы. При использовании внутренних кипяtilьников, которые даже без обогрева котла обеспечивают высокую интенсивность испарения, может иметь место недостаточное перемешивание сусла во внешних зонах емкости. Вследствие этого происходит не только неполное выделение белка, но и недостаточное испарение летучих веществ. Для устранения подобных проблем на нагревателях с небольшим диаметром устанавливают экраны, на которые при кипячении направляются конвекционные потоки сусла. Опасение, что при очень сильном кипении взвеси горячего сусла могут разрушаться, устраняют путем менее интенсивного кипячения этих взвесей с помощью внешних поверхностей нагрева котла в течение 10 мин перед перекачиванием.

И наконец, в процессах кипячения сусла значительную роль играют *форма котла и форма объема, заполненного жидкостью*, а также перепады температур в отдельных зонах поверхностей нагрева. Нагревание при кипячении происходит путем конвекции. Часть жидкости, непосредственно соприкасающаяся с поверхностями нагрева, расширяется и поднимается вверх. Аналогично ведут себя всплывающие пузырьки пара, которые увлекают за собой жидкость. Сусло начинает перемещаться, удаляясь от места наиболее сильного нагрева, и возникает поток определенной силы и направления. Так как обогреваемое дно в котлах с прямым обогревом выгнуто в центре, то в этом месте образуется более тонкий слой жидкости, что вместе с более высокой температурой поверхности нагрева приводит к образованию потока *от центра к периферии*. Аналогичные процессы происходят

в так называемых высокопроизводительных котлах с приподнятой внутренней зоной нагрева, обогреваемой паром повышенного давления. В прямоугольных котлах возникает аналогичный поток, который в данном случае направлен от одной обогреваемой стороны котла к другой, менее нагретой. При этом необходимо следить за тем, чтобы с поверхностью нагрева соприкасались все частицы сусле во избежание образования застойных зон. В данном случае целесообразным представляется использование внутренних поверхностей нагрева (пластин или труб).

Выносные кипяtilьники используют в режиме регулировки повышенных температур, воздействующих на сусло в варочном котле до выпаривания в среднем 8-10 раз в час. Во избежание слишком интенсивного осаждения белка в последнее время перешли к режиму кипячения при температурах 102-104 °С в течение 60-70 мин. Данный режим применяют и для внутренних кипяtilьников с напорным конусом и распределительным экраном (продолжительность кипячения 70-80 мин). Так как сусло в этих системах застаивается, то на коагуляцию белка влияет и температура обогревающего пара. Для испарения сусле целесообразно использовать по возможности более низкие температуры насыщенного пара (а при известных условиях и впрыскивание конденсата).

При свободном потоке жидкости (например, в котлах с двойным днищем или в котлах с прямым обогревом) температу-

ра теплоносителя не оказывает при кипячении особого влияния, не сказывается на других реакциях, в частности, на окрашивании (при обогреве без перемешивания). Подобно описанному выше способу кипячения при атмосферном давлении с использованием внешних или внутренних кипяtilьников, *при кипячении при пониженном давлении* происходит усиленная коагуляция белка, вследствие чего его ограничивают 25-30 мин при температуре в котле 102-103 °С (в кипяtilьнике соответственно на 1,5-2 °С выше) в рамках общей продолжительности кипячения 60-65 мин. В описанных способах кипячения при известных условиях может не хватать времени для реакций изомеризации α -кислот и расщепления предшественников ДМС, и поэтому при высокотемпературном кипячении сусле вернулись от первоначально высоких температур к кипячению в течение 2,5-3 мин при 130 °С.

На интенсивность осаждения белка влияет не только его значение рН, но и состав сусле. Чем лучше растворен солод, тем больше он содержит редуцирующих полифенолов, способствующих установлению тиолдисульфидного равновесия относительно выпадения в осадок высокомолекулярных азотистых веществ или денатурирования при охлаждении (в случае неохмеленного сусле). Некоторые данные см. в табл. 2.15.

Осаждение общего азота, даже превышающее количество коагулируемого азота,

Таблица 2.15. Снижение содержания азотистых веществ в зависимости от степени растворения белка

Степень растворения белка солода, %	33	42	47
Снижение содержания антоцианогенов, мг/л	9	15	22
Снижение содержания общего азота, мг/л	39	60	70
Снижение содержания коагулируемого азота, мг/л	30	48	57

свидетельствует о том, что во время кипячения происходит укрупнение коллоидов, которые затем в результате описанных выше реакций денатурируются и осаждаются.

В сусле, приготовленном без доступа кислорода, содержится больше редуцирующих полифенолов; с ним вносится меньшее количество высокомолекулярного и коагулируемого азота, в результате чего в современных системах кипячения возникает необходимость тщательного регулирования продолжительности и температуры кипячения.

В фильтр-чанах старой конструкции с очень длительным периодом фильтрации вынужденно начинали кипячение относительно рано. Как бы то ни было, кипячение после окончательного заполнения котла должно продолжаться еще около 75 % общего времени кипячения, чтобы поступающие с промывными водами азотсодержащие и дубильные вещества, а также кремниевая кислота вступили в реакцию и выпали в осадок.

Для улучшения осаждения белка и сокращения времени кипячения сусла добавляют различные стабилизирующие вещества. В Германии разрешено использовать бентониты и кизельгели (силикагель), которые при внесении от 20 до 50 г/гл не только стимулируют коагуляцию азотсодержащих веществ, но и способствуют улучшению изомеризации горьких веществ. С учетом стабильности готового пива указанное внесение этих добавок экономически оправдано (см. раздел 7.6.4.2).

Добавление поливинилполипирролидона (ПВП) при кипячении сусла приводит к снижению содержания полифенолов в сусле и пиве, но эта мера препятствует интенсивной коагуляции белка. Внесение ПВП с учетом стабильности

пива эффективно только при низком содержании азота в сусле из несоложенного сырья.

Внесение танина (3 г/гл) усиливает выделение азота при кипячении сусла на 2 мг/100 мл, улучшается также осветление пива и его физико-химическая стабильность. В Германии его применение запрещено, как и каррагена (ирландского мха). Эти высокополимерные углеводы в количестве 4-8 г/гл способствуют осаждению белка. В современных конструкциях котлов с их интенсивным процессом кипячения использование этих добавок не требуется.

2.5.4. Охмеление сусла

При варке сусла хмель добавляют для придания суслу горького вкуса и хмелевого аромата. Хмель влияет также на процесс осаждения белков, он обладает окрашивающим и консервирующим действием.

Раствор компонентов хмеля не является однородным: большая часть полифенолов, белковых веществ хмеля и его минеральные вещества растворимы, тогда как горькие кислоты, содержащиеся в свежем хмеле, переходят в раствор лишь постепенно, частично оставаясь нерастворенными. Мягкие и твердые смолы переходят в раствор легче, чем α - и β -кислоты.

2.5.4.1. Растворение горьких веществ. Решающую роль в их растворении играет значение pH сусла. Так, например, α -кислота при pH 5,9 имеет растворимость 490 мг/л, а при значении pH 5,2 — всего 84 мг/л; растворимость β -кислот в тех же условиях составляет лишь 12 или 8 мг соответственно. При повышенных значениях pH горькие вещества находятся скорее

в молекулярно-дисперсном состоянии, частично в виде солей, и в этом состоянии они придают стойкую горечь. При низких значениях pH преобладает коллоидное состояние горьких веществ. Оба эти состояния присутствуют в растворе параллельно, причем при нормальном значении pH сусла (5,4-5,6) преобладает коллоидное растворение.

Во время кипячения сусла α -кислоты — гумулон, когумулон и адгумулон — превращаются в изомеры, которые называются изогумулонами. При этом структура шестичленного кольца переходит в пятичленную. Каждый из гомологов α -кислот образует 4 изомера. Каждая из двух пар отличается положением боковых групп на четвертом атоме углерода (*цис*- и *транс-тотумулои*), а другие — позицией двойной связи на одной из этих двух боковых цепочек (*цис*- и *транс-алло*-изогумулоны).

Другие продукты превращения α -кислот изучены еще недостаточно. Спиризогумулоны присутствуют в небольшом количестве; гумулиноны и гумулиновые кислоты в сусле, охмеленном традиционным способом, не обнаружены. При кипячении сусла в течение 2 ч из внесенных α -кислот образуется 40-60 % различных изо- α -кислот, тогда как от 5 до 15 % α -кислот остаются неизомеризованными. Одна их часть, например, абеоизогумулоны, превращается при кипячении в продукты окисления, которые слабо участвуют в формировании горечи пива, но положительно влияют на качество пены. Их содержание можно увеличить путем аэрации. Большую часть потерь α -кислот или неизомеризованных продуктов можно объяснить неполной экстракцией шишек хмеля или частичек хмелевого порошка, а также осаждением вместе с коагулятами белка (см. раздел

2.5.3). Лишь часть горьких веществ присутствует в свободной форме — другая часть адсорбирована высокомолекулярными веществами. Количество растворимых фракций смол увеличивается по мере старения хмеля.

Изогумулоны, представляющие собой смесь разнообразных стереоизомеров с различным потенциалом горечи, по сравнению с α -кислотами намного более растворимы при низких значениях pH. Так, например, пороговое значение при pH 5,05 составляет около 800 мг/л. Так как α -кислоты, еще присутствующие в сусле, во время резкого снижения pH при брожении становятся нерастворимыми, остаются в деке (хмелевой дробине) и осаждаются вместе с коагулирующим белком, то формирование горечи пива и проявление других положительных свойств горьких веществ (например, снижение поверхностного натяжения и тем самым улучшение качества пены) объясняется почти исключительно действием изомеров α -кислот.

β -Кислота (лупулон) из-за своей низкой растворимости в сусле не изомеризуется. Из продуктов превращения β -кислот обнаруживается присутствие гулулона (δ -кислоты), а также мягких β -смол — лупдепов, лупдолов, лупоксов и лупдоксов, растворимых в сусле и переходящих в готовое пиво. Их горечь составляет 33-50 % горечи изогумулона.

Содержащиеся в хмеле *мягкие* и *твердые смолы* также растворяются при кипячении сусла с образованием горьких веществ, растворимых в пиве. Часть из них определяются в сусле и пиве с помощью изооктана, а часть — с помощью хлороформа. По сравнению с изомерами, образованными из α -кислот, при одинаковом содержании в пиве горьких веществ они придают ему более слабую горечь.

Их содержание оценивают методом ВЭЖХ по разности с содержанием изо- α -кислот, а также по доле S-фракции из последнего анализа.

Учитывая роль, которую изогумулоны играют в формировании горечи пива, важно знать факторы, влияющие на процесс изомеризации. Решающее значение имеет *продолжительность кипячения* (табл. 2.16).

Таблица 2.16. Содержание изогумилонов α -кислот в зависимости от продолжительности кипячения сусла

Продолжительность кипячения сусла с хмелем, мин	0	30	60	90	120
Содержание изогумулонов, мг/л	0	19,1	28,7	33,6	37,9
Содержание α -кислот, мг/л	0	31,0	25,3	17,4	13,0

При добавлении 80 мг α -кислоты/л сусла эффективность изомеризации составляет немного менее 50 %, однако в последние полчаса кипячения отмечается заметный прирост изогумулонов при соответствующем уменьшении содержания α -кислот. Из приведенной таблицы также следует, что при позднем внесении хмеля (например, за 30 мин до перекачивания) происходит изомеризация, составляющая менее половины оптимального значения.

Определенную роль играет *скорость экстракции и распределения α -кислот* в сусле. Так, например, изомеризация экстрактов хмеля в первые 30-60 мин кипячения происходит быстрее, чем при внесении шишкового хмеля, однако и здесь для достижения максимального использования горьких веществ требуется кипячение в течение 2 ч. Здесь следует учитывать, что в ходе тепловой выдержки после кипячения в отстойном чане или в вихре происходит дополнительная изо-

меризация, которая при позднем внесении хмеля обеспечивает некоторую компенсацию (см. разделы 2.7.4.2 и 2.7.7.2).

На образование изомеров α -кислот влияет и *возраст хмеля*. При внесении старого хмеля уже через 90 мин наблюдается наивысшая степень изомеризации, однако возрастают потери вследствие образования абео-изогумулонов и иных продуктов реакции.

Чем больше содержание внесенных α -кислот, тем меньше эффект изомеризации при прочих равных условиях. Так, увеличение дозы внесения α -кислот с 80 до 160 мг/л ведет к снижению эффекта изомеризации примерно на 18 %. Этот недостаток можно компенсировать увеличением продолжительности средней фазы кипячения хмеля.

Значение pH сусла, от которого зависит растворимость α -кислот, также влияет на степень изомеризации.

Температура сусла в системе кипячения очень важна: чем она выше, тем быстрее происходит изомеризация α -кислот. Так как продолжительность кипячения при использовании внутренних или внешних поверхностей нагрева, а также под влиянием других технологических факторов (коагуляции белка, образования продуктов реакции Майяра) существенно сокращается, то получающееся в результате сусло достигает сбалансированной степени изомеризации только в вихре. Кипячение без доступа воздуха приводит к снижению выхода горьких веществ примерно на 15 %.

Добавка кизельгура, бентонитов или препаратов кремниевой кислоты может обусловить улучшение изомеризации благодаря созданию дополнительной контактной поверхности, что используется для приготовления некоторых препаратов хмеля (см. раздел 2.1.4.7). Кроме

того, на эффективность использования горьких веществ или внесенных α -кислот влияют ряд факторов, определяющих состав сусла.

Хотя действие определенных *защитных коллоидов* (гумми- или белковых веществ) способно стабилизировать растворимость горьких веществ, при коагуляции белка в процессе кипячения сусла может возникнуть опасность того, что коагулируемые белки еще на стадии денатурирования адсорбируют заметное количество горьких веществ и тем самым удалит их из сусла. Эти горькие вещества обнаруживаются в осадке взвесей горячего сусла. Их потери зависят от количества коагулируемого азота: они высоки у сусла, полученного настойным способом затирания солода, у сусла с низким значением pH (например, с использованием биологического подкисления), у мутного сусла или при большом количестве дубильных веществ хмеля, например в стандартном экстракте или в натуральном хмеле.

Раздельное внесение экстракта дубильных веществ (в начале кипячения) и экстракта горьких веществ (через примерно 30 мин) приводит к меньшим потерям горьких веществ (что обусловлено коагуляцией белка) и к увеличению их выхода. Это объясняется реакциями, описанными в разделе 2.5.3, так что кипячение сусла в течение 10-15 мин без хмеля является эффективной мерой иницирования процесса коагуляции белка.

Эффективность использования горьких веществ можно проверить при помощи баланса горьких веществ. При внесении α -кислоты в количестве 80 мг/л через 2 ч кипячения обнаруживается около 50 мг α -кислот и изо- α -кислот (62 %). Часть из них невозможно определить с помощью аналитических методов (например,

абео-изогумулоны). В пиве выявляется лишь около 24 мг горьких веществ, что соответствует примерно 30 % внесенных α -кислот. Потери распределяются следующим образом: в хмелевой дробине остается около 10 %, в осадке взвесей горячего сусла — около 30 %. В процессе брожения около 30 % выводятся с завитками пены и дрожжевым осадком. В этот процесс вовлечены не только α -кислоты, но и изомеризованные продукты реакции, которые в зависимости от поверхностной активности насыщаются пузырьками CO_2 и переходят в деку. При брожении теряется почти треть изогумулонов. При дображивании происходит выпадение смол, которое тем сильнее, чем меньше было выделено горьких веществ при брожении. Часть этих потерь можно снизить путем проведения определенных технологических мероприятий, однако необходимо тщательно контролировать их воздействие на качество готового пива.

2.5.4.2. Полифенолы хмеля растворяются в кипящем сусле, причем скорость их экстракции при использовании шишкового хмеля, порошков или экстрактов различна. Полифенолы хмеля — это целый ряд соединений, представленных в форме мономерных фенолов и полифенолов (катехинов, флавонолов, антоцианогенов), которые частично связаны с азотистыми веществами или сахарами в форме гликозидов и представляющих различные фазы окисления и полимеризации. Исследования коагуляции белков показали, что они играют иную роль, чем считалось раньше (см. раздел 2.5.3), участвуя в реакциях благодаря своим редуцирующим свойствам, поскольку они смещают отношение «тиолы : дисульфиды» в сторону первых, вследствие чего белковые вещества объединяются преимущественно

в высокомолекулярные группы с меньшей растворимостью. При охлаждении сусла полифенолы способствуют усиленному осаждению белка под действием белковых дубильных соединений (взвеси холодного сусла, коллоидное помутнение). Особенно благоприятное действие при этом оказывают полифенолы с пониженной степенью окисления или полимеризации, называемые танноидами.

Высокомолекулярные полимеры, напротив, менее активны. Они остаются в сусле и придают ему более темный цвет и размытый, горький вкус. Это со всей очевидностью проявляется в опытных варках со свежим и старым хмелем. Соединения с меньшей реакционной способностью образуют с белком комплексы, которые в ходе приготовления пива становятся нерастворимыми и выпадают в осадок при снижении значения pH во время брожения и охлаждения при дображивании. Так как эта дегидратация продолжается и после фильтрования, стабильность пива в результате уменьшается.

Возникает естественный вопрос, нельзя ли вообще отказаться от полифенолов хмеля, например, путем переработки чистого экстракта смол? В обычных системах варки использование полифенолов хмеля считалось необходимым, так как они в гораздо большей степени способствуют осаждению белков, чем полифенолы солода (1 : 0,8-1,2 и 1 : 0,5 соответственно). Это следует также из табл. 2.17, где показано снижение содержания азота при кипячении сусла в течение 2 ч (в этом процессе участвуют также горькие вещества). При кипячении сусла в закрытых системах можно обойтись без применения полифенолов хмеля для осаждения белка. То же относится и к переработке солода, не содержащего процианидинов.

Таблица 2.17. Содержание азота при кипячении сусла

Снижение содержания азота, мг/л:	Общий азот	Коагулируемый азот
при кипячении без дубильных веществ хмеля	20	20
при кипячении с дубильными веществами хмеля	60	33

Во время кипячения сусла низкомолекулярные полифенолы под действием температуры и окисления превращаются в соединения с более высокой молекулярной массой, и индекс полимеризации увеличивается. Такое его увеличение можно также объяснить реакцией низкомолекулярных полифенолов с белком при коагуляции. Если в сусло ввести большее количество реакционноспособных полифенолов (например, со свежим или порошковым хмелем), то это приведет к более интенсивному осаждению белка и повышенным потерям полифенолов (в процентном выражении), чем при внесении стандартного экстракта или старого хмеля. В первом случае можно ожидать положительного влияния на физико-химическую и вкусовую стабильность пива. При частичном дозировании свежего хмеля или хмелевого порошка большая часть полифенолов остается в сусле и пиве, отрицательного действия на стабильность не наблюдается, а стабильность его вкуса улучшается.

Полифенолы хмеля положительно влияют на полноту вкуса и горечь пива, хотя полифенолы из старого хмеля могут вызвать жесткую, неприятную горечь. Это, а также тот факт, что горькие вещества хмеля, особенно в окисленном состоянии, дают более сильное окрашивание сусла, позволяет предложить, что снизить содержание горьких веществ на

30-60 % можно путем запаривания свежего хмеля (30 мин при 70-80 °С), а также с помощью использования различных хмелевых препаратов (см. раздел 2.1.4.7).

Тем не менее взаимосвязь между содержанием дубильных веществ или антоцианогенов в сусле или пиве и стабильностью готового пива является неоднозначной (см. раздел 2.5.4.7).

2.5.4.3. Хмелевые масла. В хмеле наряду с известными моно- и сесквитерпенами содержатся также их продукты окисления, количество которых, встречающихся в свежем хмеле лишь в незначительных объемах, возрастает при хранении в 10-50 раз в зависимости от вида упаковки, доступа кислорода и температуры. Жирорастворимые и улетучивающиеся с водяным паром терпеновые углеводороды при окислении превращаются в растворимые в сусле и пиве компоненты и дают интенсивный хмелевой аромат. Поведение ароматических веществ хмеля характеризуется двумя показателями: степенью удаления хмелевых масел, а также продуктов их окисления с водяным паром и окислением жирорастворимых хмелевых масел до соединений, растворимых в сусле и пиве (эпоксидов и спиртов). Так, например, гумулен переходит в гумуленэпоксид или гумуленол (или гумулол), аналогичным образом подобная трансформация проходит и у других терпенов и сесквитерпенов. Степень удаления хмелевых масел существенно зависит от способа внесения хмеля (например, в виде шишкового хмеля, хмелевого порошка или экстракта).

Хмелевые масла в экстрактах быстрее переходят в сусло и, следовательно, улетучиваются с водяным паром быстрее, чем начинается их окисление, повышающее их растворимость. У шишкового

хмеля и порошков хмелевые масла сначала извлекаются из лупулиновых желез, при этом в них происходят соответствующие изменения (например, окисление). В шишковом хмеле и хмелевом порошке через 40 мин кипячения потери сесквитерпенов составляют 50-55 %, в хмелевых экстрактах — 85 %. При внесении шишкового хмеля и порошков в несколько приемов удается повысить содержание ароматических веществ хмеля в готовом сусле или пиве. Вместе с тем в сусле остаются в небольших количествах неизменяемые монотерпены — мирцен, α - и β -пинен, а также значительное количество сесквитерпенов, которые, являясь жирорастворимыми веществами, не переходят в пиво, так как абсорбируются дрожжами.

Эти данные позволяют определить влияние определенных сортов ароматического хмеля на формирование характера пива. Хмель, богатый мирценом (например, горькие сорта *Noithem Brewer* и *Brewers Gold*) придает пиву некоторый, иногда навязчивый, хмелевой аромат и одновременно резкую горечь. Объясняется ли это действием мирцена, других монотерпенов или продуктов их окисления, или действием фрагментов гумулону и гулулону до сих пор неизвестно. Действие ароматических веществ хмеля удастся снизить путем вакуумной обработки хмеля (по способу Вайнера).

На практике эти сорта горького хмеля вносят лишь в начале или сразу после начала кипячения, что позволяет удалить легколетучие соединения с водяным паром еще до того, как они смогут окислиться. Эта мера позволяет улучшить качество пива, для изготовления которого использовались исключительно сорта горького хмеля.

Внесение хмеля перед началом кипячения (например, при нагревании сусла)

должно было бы вызвать увеличение содержания продуктов окисления хмелевых масел, которые частично сохраняются в пиве и могут придать ему хмелевой аромат. При этом следует точно определить условия во избежание качественных отклонений. В этих целях разрешается использовать только высококачественный ароматический хмель. Это относится и к более позднему внесению хмеля за 30-10 мин до конца варки, что может принести к успеху только в том случае, если вносится не менее 30 % от общего количества хмеля в пересчете на α -кислоту. Для пива с подчеркнутым ароматом средняя продолжительность кипячения сусле с хмелем составляет в котлах старой конструкции (при общей продолжительности варки 90 мин) около 45 мин, и около 30 мин — в котлах с внешним кипятильником (при продолжительности варки 60 мин). Для перевода хмелевых масел из ароматических экстрактов смол в форму, растворимую в пиве, эффективным может оказаться раннее внесение хмеля перед кипячением или предварительная термообработка (во избежание осаждения экстракта) в емкости для дозирования хмеля в течение 1-2 ч при температуре 70 °С. Внесение препаратов хмелевого масла из экстрактов (см. раздел 2.1.4.7) на поздней стадии кипячения связано с увеличением потерь, рассмотренных выше для хмелевых масел «нормальных» экстрактов.

2.5.4.4. Липиды. Содержание свободных жирных кислот хмеля, составляющих 20 % летучих веществ хмеля и характерных для отдельных его сортов, возрастает по мере старения хмеля. Первоначально в сусле возрастает содержание среднемолекулярных жирных кислот (C_6 - C_{10}), что компенсируется впоследствии путем

их адсорбции на осадке взвесей сусле. Из высокомолекулярных жирных кислот хмеля в сусло попадают прежде всего пальмитиновая, линолевая и линоленовая кислоты, содержание которых в результате образования взвесей горячей сусле уменьшается. При неполном удалении взвесей горячей сусле часть этих жирных кислот оказывается в сусле при брожении.

2.5.4.5. Белки хмеля, содержащиеся в шишковом хмеле и хмелевом порошке, являются растворимыми только на 50 %. В зависимости от дозы внесения хмеля и хмелепродуктов (экстракты смол не содержат азотистых веществ) белковые вещества вносятся в сусло в количестве 1,5 мг/100 мл (в пересчете на азот). Их молекулярная масса составляет 12-70 тыс. дальтон и они могут влиять на полноту вкуса пива.

2.5.4.6. Норма внесения хмеля в граммах на гектолитр товарного пива имела раньше большое значение, однако в настоящее время она мало о чем говорит. Удобнее указывать *норму внесения горьких веществ*, а лучше — количество α -кислоты в мг/л или в г/гЛ, учитывая при этом содержание горьких веществ в пиве.

Таким образом, норма внесения хмеля изначально от качества хмеля. Для хмеля с высоким содержанием горьких веществ требуется более низкая норма, чем для хмеля, бедного горькими веществами. Тип применяемых препаратов хмеля и рассчитанная исходя из этого экономия также влияют на количество вносимого хмеля и на дозируемое количество α -кислоты. Важен также учет *типа пива*, поскольку содержание горьких веществ в различных типах пива существенно отличается: в светлом лагерном пиве оно

составляет 18-24 мг/л, в светлом экспортном пиве — 20-30 мг/л, в пиве типа *Pilsener* — 28-45 мг/л, в светлом пиве *Bockbier* — 28-40 мг, в темном лагерном и экспортном пиве — 16-24 мг/л, в темном пиве *Starkbier* — 24-30 мг/л, в пиве *Märzen* («мартовском») — 20-26 мг/л, в пиве *Weizenbier* («Пшеничном») — 12-18 мг/л, а в горьком пиве верхового брожения — 28-40 мг/л и даже 60 мг/л.

Чем светлее пиво, тем лучше качество использованного сырья и тем тщательнее соблюдалась технология (мягкая пивоваренная вода, затирание солода с очень короткими отварками, отделение оболочек) и тем больше переработано горьких веществ. Более плотное пиво требует повышенного содержания горьких веществ. У темных сортов пива преобладает солодовый характер и для них требуется меньшее охмеление. Наряду с отличиями типов пива одним из основных факторов является вкус потребителей: например, в некоторых местностях пиво типа *Pilsener*, *Export* и *Spezial* может быть менее горьким, чем в других. Для массовых типов пива всегда желательна меньшая горечь, чем для специальных сортов.

Способы использования хмеля играют большую роль при расчете дозы горьких веществ. Малая продолжительность кипячения сусла с хмелем, немедленное охлаждение сусла после варки, сильное снижение горечи при брожении и длительный период дображивания и созревания пива вызывают необходимость использования более высокой нормы внесения горьких веществ, чем, например, при средней продолжительности варки (90 мин), дополнительной изомеризации в сборнике для горячего сусла, возвращении взвесей хмеля в затор или фильтр-чан после стекания первого сусла,

а также при использовании закрытых бродильных емкостей. Из экономических соображений считается целесообразным возможно более полное использование горьких веществ хмеля (для пива с подчеркнутым хмелевым характером требования в этом отношении несколько мягче).

Для получения указанных выше значений содержания горьких веществ в лагерное пиво вносят примерно 65 мг α -кислоты на литр горячего охмеленного сусла, в экспортное пиво — 80 мг, в пиво типа *Pilsener* — 100-150 мг; в перерасчете на обычный хмель с содержанием α -кислоты в 5 % это соответствует внесению хмеля из расчета 130-160 или 200-300 г/л товарного пива.

2.5.4.7. Дозирование хмеля в сусло в зависимости от способа и момента внесения оказывает влияние на вкус пива и, в первую очередь, на степень использования хмеля. На дозирование хмелепродуктов влияет также обработка сусла после завершения процесса кипячения. Недостатком естественного способа внесения шишкового хмеля является более медленная экстракция и распределение горьких веществ, а также потери горьких веществ с хмелевой дробинкой (около 10 %).

Измельчение хмеля может производиться в простых мельницах для сухого дробления (молотковых, дисковых ударно-отражательных, ударных, стержневых или дисковых), причем в процессе помола важно избегать нагревания хмеля. Потери лупулина следует предотвращать путем установки на выходе воздушного канала нагнетательного рукавного фильтра. Чтобы избежать разрушения его ценных компонентов, помол необходимо производить незадолго до использования хмеля. Экономия в результате составляет

10-15 % без потери качества пива. Отделение хмелевого порошка возможно только на холодильной тарелке, в вихре, в фильтре для горячей хмелевой дробины, а при небольших количествах — и в центрифуге для горячего сусла. Во избежание потерь сусла смесь из хмелевой дробины и осадка взвесей сусла добавляется при затирании или фильтровании следующей варки. За счет этого можно сэкономить 7-10 % хмеля.

Аналогичные возможности предоставляются при переработке *готовых порошковых хмелевых препаратов*, упаковка которых обеспечивает сохранение ценных свойств продукта на протяжении длительного времени.

Дробилки для мокрого дробления (как правило, дисковые мельницы) также позволяют добиться хорошей подготовки хмеля, но помол в этом случае должен производиться непосредственно перед внесением хмеля. Экономия в этом случае благодаря «водной экстракции» во время помола составляет около 15-20 %. Аналогичное действие оказывают гомогенизаторы или эмульгирующие насосы, но при их использовании существует проблема отделения и повторной переработки хмелевой дробины.

Другие меры, в частности *применение ультразвука* или *вываривание хмеля* в горячей воде, не нашли широкого применения, как и *предварительная щелочная обработки* хмеля (в растворе $0,05$ и Na_2CO_3). Во многом это вызвано наличием на рынке многочисленных хмелевых препаратов.

Устройство для выщелачивания хмеля предусматривает кипячение хмеля не в котле, а в отдельной емкости, устанавливаемой между фильтр-чаном и сусловарочным котлом. В ней после сбора первого сусла промывные воды интенсивно

перемешиваются с шишковым хмелем, при этом шишки хмеля распадаются на отдельные листочки и высвободившийся лупулин попадает в виде эмульсии в сусловарочный котел при температуре фильтрования, благодаря чему происходит существенное выщелачивание горьких веществ из хмелевой дробины. Помимо 15 %-ной экономии, дополнительное преимущество такого способа состоит в том, что не образуется промывных вод хмеля, поскольку их концентрация снижается до концентрации последней промывной воды дробины (0,5-1,0 %). Следует отметить, что устройство для выщелачивания хмеля не всегда обеспечивает требуемую горечь пива, особенно при использовании старого или не измельченного хмеля (см. раздел 2.1.4).

Порошкообразные хмелевые препараты (в гранулах или хмель-концентрат) отличает простота применения, так как при использовании упаковок с известной массой дозирование порций хмеля, представляющее в случае высокопроизводительных варочных отделений очень трудоемкую операцию, может не понадобиться. Кроме того, они могут фасоваться по определенному количеству α -кислоты. Экономия α -кислот при этом составляет около 10-15 %. При работе с обогащенным хмелевым порошком снижается количество внесенных полифенолов и выход хмелевой дробины, что позволяет использовать сепараторы первого сусла.

Хмелевые экстракты также обеспечивают экономию горьких веществ на уровне 15-20%. Они предоставляют целый ряд технологических возможностей — как сами по себе, так и в сочетании с хмелевыми порошками. Их применяют, например, для сокращения количества хмелевой дробины и связанных с этим потерь.

Стандартные экстракты, которые наряду с горькими веществами и хмелевыми маслами содержат водорастворимые фракции исходного хмеля (полифенолы, белки, минеральные вещества, углеводы), уже почти не применяются из-за присутствующих в них нитратов и других вредных веществ. Вследствие опасности расщепления смеси компонентов их нельзя дозировать автоматически. Это относится и к «стандартизированным» экстрактам. В применяющихся в настоящее время экстрактах смол (чистых экстрактах на основе растворителя) дают гораздо меньшее содержание полифенолов в сусле по сравнению с шишковым или порошковым хмелем. В результате у пива получается более светлый цвет, а также несколько более мягкая горечь при одинаковом количестве горьких веществ. Благодаря отсутствию горечи полифенолов хмельное пиво «справляется» с немного более высоким содержанием изогумулона. Экстракты смол несколько снижают осаждение белков, что приводит к улучшению пеностойкости, но к небольшому ухудшению коллоидной стойкости пива. У хмелевых экстрактов в ходе первой половины варки отмечается ускоренная изомеризация, однако в традиционных котлах полная изомеризация достигается лишь через 120 мин. С точки зрения потерь горьких веществ полезной для иницирования коагуляции белка может оказаться короткая фаза предварительного кипячения.

Порошок хмелевого экстракта изомеризуется быстрее благодаря наличию носителя, и его с успехом вносят с последней дозой хмеля; это же относится и к гранулированному хмелю, смешанному с бентонитом.

Дозирование отдельных порций хмеля или его препаратов производится

в соответствии с содержанием α -кислоты. При переходе с шишкового хмеля на порошковый хмель или хмелевой экстракт при расчете дозы внесения α -кислоты необходимо учитывать получаемую экономию. Для контроля правильности внесения горьких веществ в начальное сусло служит спектрально-фотометрический анализ горьких веществ (в ед. ЕВС), при котором определяются изомеризованные и неизомеризованные α -кислоты, а также мягкие смолы; более точным является анализ изо- α -кислот или горьких веществ в молодом пиве, результат которого, проявляется лишь позже, при брожении.

Изомеризованный хмелевой экстракт (в Германии его применение запрещено) добавляют к пиву после главного брожения или только незадолго перед спуском пива. При его использовании исключительно для «холодного охмеления» хотя и добиваются высокой степени его использования (в зависимости от момента дозирования она может составлять 80-93%), хорошей пеностойкости и стабильности, в случае позднего внесения отмечается специфическая, негармоничная горечь. Чрезмерного вспенивания («гашинг-эффекта») пива при использовании чистых изомеризованных экстрактов, правильно хранившихся, можно не опасаться. Внесение таких экстрактов в начале дображивания пива приводит к улучшению горечи по сравнению с их дозированием незадолго до окончания дображивания. Дозировка так называемого основного экстракта (см. раздел 2.1.4.7) при кипячении сусла препятствует чрезмерному пенообразованию в котле и придает вторичные вкусовые свойства, характерные для традиционного охмеления сусла. Опасность инфицирования сусла и пива снижается благодаря бактериостатической силе горьких ве-

ществ. При позднем дозировании (например, перед фильтрованием) существует возможность приготовления нескольких сортов пива с горечью различной интенсивности из одного «базового сорта».

2.5.4.8. Момент внесения и распределение порций хмеля зависит от типа приготовления пива и специфики пивоваренных предприятий. Для пива с небольшим содержанием горьких веществ (менее 24 ед. горечи) и приглушенным хмелевым ароматом хмель чаще вносят за один прием в начале кипячения сусла. Иногда его вносят через 5-10 мин после начала варки, чтобы инициировать коагуляцию белков и тем самым несколько снизить потери горьких веществ при образовании взвесей горячего сусла. При этом можно получить специфический вкус более округлую горечь пива. Практически такое внесение хмеля имеет целью только охмеление сусла и делает пиво менее чувствительным к качеству хмеля. При такой технологии еще заметны существенные различия между сортами хмеля *Hallertauer*, *Northern Brewer* и американским хмелем.

При внесении хмеля в несколько приемов в расчете на его дополнительную изомеризацию в вирпуле или танке для горячего сусла без существенных потерь горьких веществ в настоящее время стремятся к сокращению средней продолжительности кипячения хмеля. Внесение хмеля осуществляют в два приема: 70-80 % задается в начале кипячения или через 10-20 мин после его начала, а 30-20 % — за 10-30 мин до окончания кипячения. При внесении хмеля в три приема — в начале кипячения, через 50-60 мин и за 10-20 мин до окончания кипячения — первая порция включает хмель, богатый горькими веществами, и часто вносится

в виде экстракта, тогда как последующие порции вносят преимущественно в виде порошка ароматического хмеля. Внесение отдельных порций за 10-15 мин до окончания кипячения позволяет придать пиву отчетливый хмелевой аромат. Объем их дозирования составляет около 25-33 %, причем это должны быть лучшие сорта ароматического хмеля (*Sauzer*, *Tettmanger*, *Spalter*, *Selekt*, *Tradition*, а также *Hersbrucker* высшего сорта). При внесении в вирпул существует риск возникновения усиленного хмелевого букета, однако пиво в этом случае получается не совсем сбалансированным и его вкус недостаточно стабилен. Все вышесказанное относится также к внесению хмелевого порошка при дображивании. Указанная дозировка хмеля (25-33 %) примерно за 30 мин до начала кипячения также должна включать наилучшие сорта хмеля (ради качества аромата и горечи).

2.5.4.9. Автоматическое дозирование хмеля должно уменьшить нагрузку на персонал, обеспечить точное соблюдение моментов внесения хмеля, а также дать определенную экономию благодаря использованию крупных упаковок. Полуавтоматические установки в простейшем случае состоят из трубы, оборудованной шиберами в соответствии заданным дозам хмеля. Аппараты для предварительного растворения экстракта работают при соотношении экстракт-вода 1 : 4. В автоматических системах гранулы пневматически порционируются из больших емкостей непосредственно в котёл. Экстракты смол в емкостях соответствующего размера благодаря нагреванию до 40-45 °С можно поддерживать в пригодном для перекачивания состоянии в течение нескольких суток и вносить в варку перекачиванием насосом со счетчиком.

Точность дозирования при этом составляет $\pm 1\%$.

При таком способе обработки содержание горьких и ароматических веществ хмеля не изменяется, если ограничивать поглощение кислорода.

2.5.5. Содержание ароматических веществ в сусле

2.5.5.1. Высшие ненасыщенные жирные кислоты, например, линолевая и линоленовая кислоты при солодоращении и затирании переходят под действием липогексиназ в продукты их окисления — гидроксикислоты и гидропероксиды, которые затем вступают в реакцию с образованием летучих карбонильных соединений, которые частично удаляются при кипячении. Содержание жирных кислот независимо от того, были ли они внесены с солодом или хмелем, существенно уменьшается в результате образования взвесей горячего суслу под действием окисления или термического разложения, вследствие чего возникают низкомолекулярные жирные кислоты.

2.5.5.2. Фенолкарбоновые кислоты (*p*-кумаровая, феруловая и синапиновая), полученные из солода и хмеля, под действием температуры переходят при кипячении в фенолы и 4-гидроксibenзальдегид и участвуют в формировании аромата суслу и пива.

2.5.5.3. Из солода в суслу вносятся также спирты (например, фенилэтанол и, в первую очередь, гексанол), которые частично удаляются с водяным паром и при кипячении заново не образуются. Таким образом, гексанол можно использовать в качестве показателя степени выпаривания ароматических веществ.

2.5.5.4. Красящие и редуцирующие вещества. В некипяченом сусле из светлого солода присутствует лишь незначительное количество меланоидинов, образованных в основном в ходе подсушивания, сушки и затирания. Кроме того, присутствует ряд отчасти бесцветных, а отчасти красящих предшественников красящих веществ — например, глюкозиламины и фруктозиламины. При кипячении суслу аминокислоты взаимодействуют с сахарами с образованием первичных и вторичных продуктов, которые формируют ряд реакционноспособных промежуточных групп, образующих с аминокислотами соединениями меланоидины коричневатой окраски (в условиях конденсации).

Важным промежуточным продуктом, обнаруженным в сусле, является при этом 3-дезоксид-глюкозон, который через промежуточные соединения с дикарбонильными группами вступает в реакцию с меланоидинами типа А. В результате дегидратации образуется также гидрометилфурфураль, который снова взаимодействует с аминокислотами и образует затем меланоидины типа В. Кроме того, в ходе расщепления аминокислот по Штрекеру возникает целый ряд низкомолекулярных продуктов с карбонильными группами. К ним относится 2-метилбутаналь (из лейцина), 3-метилбутаналь (из изолейцина), феилэтаналь и другие продукты, уже присутствовавшие в солоде или образовавшиеся лишь при кипячении суслу. Именно они отвечают за образование «солодового» аромата, и хотя их содержание в процессе кипячения уменьшается, они могут играть некоторую роль в старении пива (см. раздел 7.6.6.5).

Продуктам реакции Майяра приписываются редуцирующие свойства, то есть

они способны захватывать кислород прежде, чем он вступит в реакцию с другими соединениями и сможет вызвать ухудшение вкуса пива или его помутнение. Образование редуктонов прогрессирует по мере увеличения продолжительности кипячения и связано также с усилением цвета. В формировании цвета также участвуют полифенолы, которые в результате неферментативного окисления простых антоцианогенов образуют бифлаваны или более организованные группы.

Усилению цвета и редуцирующих свойств способствует высокая степень растворения солода (обусловленная в том числе действием гибберелловой кислоты), а также высокие температуры подсушивания и сушки. Такое усиление продолжается и в ходе термической обработки сусла. Интенсивное окрашивание сусла приводит к получению пива, подверженному ускоренному старению и обладающему размытым резким вкусом. Это старение можно, вероятно, объяснить окислением меланоидинами спиртов в готовом пиве, и следовательно, необходимо ограничить усиление цвета в стадии кипячения сусла; в этой связи положительное действие может оказать уменьшение предварительной нагрузки на предшественников реакций, ограничение окисления различных соединений, включая полифенолы, и снижение значения рН сусла до 5,5-5,2.

Реакция Майяра приводит к образованию не только высокомолекулярных меланоидинов, но и к возникновению большего числа промежуточных продуктов, характеризующихся разной стабильностью. Распад карбониллов приводит, в частности, к образованию гетероциклических соединений, дающие вместе с другими альдегидами продукты альдольконденсации, присутствующие как в светлом, так

и темном солоде. При кипячении сусла они частично удаляются. Гетероциклические соединения образуются не только во время сушки солода (см. раздел 1.6.1. 2), но и при кипячении сусла, однако частично отводятся с водяным паром (например, в конденсате содержится во много раз больше N-гетероциклических соединений, чем в сусле до или после кипячения), в связи с чем процессу выпаривания при кипячении сусла придается большое значение. Количество гетероциклических соединений возрастает с увеличением продолжительности кипячения, особенно при повышенных температурах. У пива, изготовленного из подобного сусла, нередко отмечаются оттенки аромата, напоминающие аромат хлеба, карамели или попкорна; в так называемом «вареном привкусе» могут присутствовать травянистые ароматы. При температурах выше 120 °С из пролина образуются многочисленные пирролизины, которые придают пиву остаточный горький привкус. Для оценки воздействия повышенных температур необходимо проанализировать продолжительность реакции, а также температуру на поверхностях нагрева закрытых систем.

Аналитическим способом эти реакции определяют сначала на основании усиления окрашивания некипяченого сусла, горячего неохмелённого сусла и (для регистрации дальнейших изменений) начального сусла. Чтобы компенсировать различие условий выпаривания, требуется перерасчет всех значений на 12 %-ный экстракт. Подробное представление о продуктах реакции Майяра дает так называемое ОМФ-значение (значение оксиметилфурфуrolа), которое в модифицированной форме обозначают показателем тиобарбитуровой кислоты (ТБК). Данные этих общих анализов очень хорошо коррелируют

с изменением содержания N-гетероциклических соединений. Расхождение между увеличением окрашивания и TDK-показателем свидетельствует о высокой термической нагрузке, которая в некоторых условиях вызывает изменение вкусо-ароматических характеристик. Производные пролина можно обнаружить только с помощью высокочувствительных газохроматографических методов анализа.

Следует упомянуть, что продукты реакции Майяра, образующиеся при сушке, придают солодовые, чистые оттенки вкуса, тогда как частично продукты, возникающие при кипячении суслу, вызывают неблагоприятные изменения аромата.

Возможности сокращения продолжительности кипячения суслу ограничены ходом других процессов, причем важно удаление летучих соединений — карбониллов и ДМС.

2.5.5.5. Изменение серосодержащих соединений. В результате расщепления по Штрекеру серосодержащих аминокислот из метионина образуется нестабильный альдегид метионол, который распадается далее на акролеин, диметилсульфид, диметилдисульфид и диметилкаптан. Цистеин распадается через меркаптоацетальдегид или тиацетальдегид на сероводород и ацетальдегид. Реакции Майяра серосодержащих аминокислот, приводят к образованию тяжелых летучих тиосоединений. *Диметилсульфид* (ДМС) образуется из предшественников S-метилметионина (*SMM*), образующихся при солодоращении, и диметилсульфоксида (см. раздел 1.6.1.2). ДМСО, образующийся при повышенных температурах подсушивания, в процессе приготовления суслу изменяется мало, а *SMM*, напротив, в ходе кипячения термически разлагается. Образующийся ДМС

почти полностью удаляется вследствие своей высокой летучести. Скорость расщепления *SMM* меняется в зависимости от температуры и времени по типу реакции первого порядка. При значениях pH 5,5-5,6 период полураспада *SMM* составляет примерно 35 мин, так что в горячем сусле для разложения около 75 % *SMM* требуется не менее 70 мин. Повышение температуры вызывает ускорение расщепления, а снижение значения pH, наоборот, его замедление, в связи с чем желательнее доводить значение pH суслу до 5,1 лишь перед окончанием его кипячения.

Во время кипячения суслу очень важно обеспечить расщепление предшественника *SMM* и удаление высвобождающегося ДМС. Основными факторами при этом являются интенсивность кипячения, а также равномерность термического воздействия на весь объем суслу в котле. Следует учитывать также влияние свойств солода (его сорт, год сбора урожая, степень растворения, интенсивность сушки) и способа затирания (инфузионный или декокционный) на содержание предшественника ДМС в некипяченом сусле. При оптимально подобранной длительности кипячения удастся получить значения, которые в дальнейшем не помешают процессу приготовления пива. Хотя под действием термической нагрузки в сборнике горячего суслу после кипячения продолжается расщепление предшественников ДМС, образующийся при этом свободный ДМС уже не испаряется, в связи с чем при брожении могут возникать нежелательные («овощные») оттенки вкуса. Общее содержание ДМС (предшественник + свободный ДМС) в горячем неохмеленном сусле не должно превышать 120 мкг/кг.

Хотя современные системы кипячения эксплуатируются в выверенном диапазоне несколько повышенных температур и в условиях управляемой циркуляции сусла, зачастую продолжительность кипячения с учетом недостаточного осаждения белков оказывается слишком короткой. В целях экономии энергии снижают испарение, в результате чего далеко не очевидно, что приведенные выше значения являются достижимыми на практике. В новых или модернизированных котлах, как и при изменении температуры кипячения, требуется точный контроль состояния ДМС в горячем неохмеленном и начальном сусле. Более простым способом является определение ДМС в молодом пиве, однако оно всегда проводится на неделю позже. Существенно снижает общее содержание ДМС лишь кипячение сусла при высокой температуре (130 °С, 2,5-3 мин).

2.5.6. Потребление энергии при кипячении сусла

2.5.6.1. Расход энергии при кипячении сусла достаточно высок — около 50 % энергопотребления пивоваренного предприятия. После энергетического кризиса 1970-х гг. не было недостатка в предложениях по экономии энергии в процессе кипячения сусла и по рекуперации отводимой теплоты.

2.5.6.2. Использование отводимой теплоты в современных системах кипячения производится, с одной стороны, за счет закрытого кипячения (без подсоса воздуха), а с другой — путем улучшения конструкции пароконденсаторов суслотварочного котла. Такой пароконденсатор дает примерно в два раза больше горячей воды с температурой 80-85°С, чем требуется

для производственных целей, а так как количество горячей воды для варки и без того покрывается водой, образующейся при охлаждении сусла, то необходим следующий шаг, реализованный в аккумуляторе энергии.

Высокая температура испарения (например, 98 °С) используется в пароконденсаторе суслотварочного котла для нагревания воды от 80 до 96 °С. Этой водой нагревают затем фильтрованное пивное сусло с 72 до 93 °С; отработанную горячую воду с температурой 75-80 °С собирают и при следующей варке вновь нагревают до 98 °С в пароконденсаторе суслотварочного котла. Таким способом можно сэкономить около 75 % энергии, необходимой для нагревания сусла. При так называемом кипячении при низком давлении образуется вода температурой в среднем 100 °С, с помощью которой сусло можно нагреть на 2 °С выше.

Другой задачей пароконденсатора является улавливание испарений, образующихся при кипячении затора и сусла. В конденсат, который содержит главный носитель запаха, перед его спуском в сточные воды добавляют поверхностно-активные, биологически расщепляемые нетоксичные вещества. Повторное использование конденсата из пароконденсатора в качестве заторной или промывной воды не оправдало себя вследствие переноса ароматических летучих соединений.

2.5.6.3. Снижение интенсивности испарения стало возможным при чрезмерной интенсивности кипячения, практиковавшейся в 1960-е гг. Такое уменьшение в зависимости от той или иной системы кипячения необходимо было проводить постепенно (например, при длительности кипячения 90-100 мин — с 15 до 12 %), контролируя свойства сусла и качество

пива. Котлы с двойным днищем из-за уменьшения фонтанирования при кипении (обуславливающего перемешивание) практически не позволяют добиться снижения интенсивности кипячения, что может быть показано с помощью ароматограмм сула и пива. При дальнейшем снижении интенсивности испарения в сусле остается значимое повышенное содержание гексанола-1, а также других спиртов, альдегидов, ароматических веществ хмеля и ДМС. Содержание уксусных кислот (гексил-, гептил- и октилэфиров, образующихся из гексанола-1 при брожении) также характеризуется повышенными значениями и дают солодовый запах и вкус пива. В системах с внутренним кипятильником с соответствующей циркуляцией жидкости и большой поверхностью испарения можно поддерживать испарение на уровне около 8 % при продолжительности кипячения около 75 мин и температуре над кипятильником 101,5–102 °С. Более высокая интенсивность испарения является нежелательным для теплоотводного контура в аккумуляторе энергии. Чтобы при этом предотвратить недостаточное испарение ароматических веществ сула, наряду с кипятильниками (см. раздел 2.5.1) были предложены различные конструкции напорных конусов и экранов. Очень хорошие результаты дает двойной экран с большой площадью поверхности. Благодаря уменьшению интенсивности испарения с 12,5 до 8 % достигаемая экономия энергии может составить 36 %.

В системах с *внешним кипятильником* можно добиться сопоставимого уменьшения интенсивности испарения, хотя и в этом случае большое значение придается максимальному испарению ароматических веществ. При соблюдении условий кипячения (см. раздел 2.5.3)

можно получить безупречное по качеству суло и пиво. Экономия энергии здесь такая же, как и в системах с внутренним кипятильником, однако из нее следует вычесть энергию, потребляемую циркуляционным насосом (около 5,5 кВт/100 гл.). В системах с внутренним и внешним кипятильниками оптимальное действие на протекающие при кипячении сула процессы оказывают низкие температуры теплоносителя.

2.5.6.4. Принцип действия компрессора для вторичную пара основан на механической или термической компрессии пара, образующегося в процессе кипячения сула. В первом случае применяется тепловой насос (турбина или винтовой компрессор), приводом которого служит дизельный, газовый или электродвигатель (потребляемая мощность 16–25 кВт/100 гл.). После перевода испарений на более высокий энергетический уровень пар при давлении 0,35–0,45 бар имеет температуру 112–115 °С; при использовании турбины происходит перегрев, который необходимо снизить до температуры насыщенного пара путем впрыска воды или конденсата. Вследствие незначительной разницы температур теплоносителя и сула поверхность обогрева должна иметь достаточно большую площадь, что легче реализуется в системах с внешним кипятильником, чем с внутренним; при течении сула образуется настолько мало отложений, что можно проводить более 40 варок без чистки котла. Внутренние кипятильники в небольших котлах способны обеспечить необходимую площадь обогрева (в прямоугольных котлах — несколько кипятильников), однако для обогрева последних необходимо более высокое давление и температура вторичного пара, что требует повышенной

мощности компрессора. При использовании двигателей внутреннего сгорания для нагревания технической воды повторно используют отводимую теплоту как пара, так и охлаждающей воды. Экономия тепла на такой установке составляет с учетом всех факторов около 56 % (при продолжительности кипячения 60 мин один агрегат, состоящий из внешнего кипятильника и компрессора вторичного пара, может обслуживать в длительном режиме три суловарочных котла и эксплуатироваться 24 ч в сутки). При этом, однако, требуется второй внешний кипятильник, в котором сусло после перекачивания из сборника сусла нагревается до температуры кипения и кипятится до тех пор, пока из системы не выйдет воздух, после чего можно подключить компрессор вторичного пара. С учётом всех издержек механический компрессор вторичного пара оказывается рентабельным при загрузке не менее 1200 варок в год.

Термическая компрессия вторичного пара приемлема для небольших пивоваренных производств с меньшим числом варок. В пароструйном компрессоре в качестве рабочего пара для перехода на более высокий энергетический уровень применяется острый пар с избыточным давлением 8 бар и более. При этом температура острого пара повышается до 103,5-104 °С, а при работе с более высоким давлением — и более, так что сусло в котле доводится до температуры 100,5 °С и выше. При объеме котла около 400 гл очень большие поверхности обогрева можно разместить в пластинчатом теплообменнике, а для более крупных котлов требуется трубчатый конвертер. Для получения интенсивности испарения, например, 12 %/ч в условиях незначительной разницы температур при тем-

пературе кипячения 100,5 °С необходимо обеспечить примерно 24-кратную циркуляцию, вследствие чего потребляемая мощность насоса составит 14-15 кВт/100 гл.

Благодаря низкой температуре теплоносителя компрессия вторичного пара обеспечивает щадящее кипячение, что положительно сказывается на цвете, пенокостости и вкусе пива. Бесспорное ее преимущество заключается в том, что приведенные выше экономические показатели достигаются в рамках известной технологии кипячения, в частности, с использованием внешнего или внутреннего кипятильника. Другим преимуществом этого метода является удаление летучих ароматических веществ с испарениями. Недостатком термической компрессии вторичного пара является то, что конденсат вторичного пара не используется, в связи с чем требуется больше воды для питания котла.

Интересная возможность кипячения сусла основана на *применении конденсатора пара пониженного давления* (см. раздел 2.7.7.4). Сусло выдерживают при температуре кипячения в обычном котле всего 1 ч, затем кипятят около 5 мин при атмосферном давлении, а в конце перекачивают через конденсатор пара пониженного давления в сборник сусла. Под действием вакуума происходит охлаждение до температуры 70 °С с испарением 5-6 % воды. Такое спонтанное испарение способствует удалению ароматических веществ сусла. Аналитические показатели (содержание азота) при этом не отличаются, но выход горьких веществ снижается.

2.5.6.5. Кипячение при повышенном или низком давлении применялось прежде при обогреве днища котла, а в настоящее

время оно проводится исключительно с использованием внешних и, чаще, внутренних кипяtilьников. Хотя в большинстве случаев котлы рассчитаны на эксплуатацию с рабочим избыточным давлением 1 бар (120 °С), типовые температуры составляют порядка 102-104 °С, причем в рамках всего процесса кипячения их необходимо поддерживать лишь в течение 20-30 мин. Используемая в настоящее время технология состоит в следующем: предварительное кипячение перед повышением давления не применяется или проводится в течение 5 мин для дозирования первой порции хмеля. При незначительной разнице температур для подъема давления требуется всего 5-8 мин, затем около 30 мин выдерживается фаза кипячения под давлением (например, при температуре 103 °С). Важно, чтобы как при увеличении давления, так и во время нагревания до 103 °С происходило испарение, чтобы пузырьки пара отводились с поверхности котла или кипяtilьника и тем самым обеспечивалась интенсивная конвекция. Следующее за этим снижение давления в течение 5 мин способствует интенсивному испарению (его дополняет открытое кипячение продолжительностью около 20 мин). Общая продолжительность кипячения составляет 60-65 мин, а интенсивность испарения — 7,5-8 %. Температура внутреннего или внешнего кипяtilьника примерно на 2 °С выше температуры сусла в котле. Экономия энергии, включая теплоту, полученную от аккумулятора энергии, составляет 50-52 %. Использование указанных температур, длительное испарение и обычный способ внесения хмеля на производстве через шлюзы или дозирующие емкости позволяют получить пиво удовлетворительного качества, тогда как слишком высокие температуры, нерав-

номерная циркуляция жидкости, а также недостаточное испарение ароматических веществ хмеля могут придать пиву так называемый «вареный привкус».

2.5.6.6. Кипячение сусла при высоких температурах применяется в диапазоне средних (120 °С, 10 мин) или повышенных температур (135 или 130 °С, 2,5-3 мин). Сусло постоянно нагревается в ходе теплообмена испаряющейся жидкостью на обеих ступенях сброса давления.

Процесс кипячения сусла при высоких температурах характеризуется следующим температурным режимом: теплообменник 1 — с 70 до 92 °С, теплообменник 2 — с 92 до 108 °С, нагреватель — со 108 до 130 °С; в емкости для тепловой выдержки в течение 2,5-3 мин поддерживается температура 130 °С. Затем следует фаза сброса давления 1 (117 °С), фаза сброса давления 2 (100 °С), сборник горячего сусла или вирпул. Общая продолжительность пребывания при температуре выше 100 °С составляет около 500 с, а интенсивность испарения — около 6-6,5 %. Благодаря теплообмену между вторичным паром и суслом достигается экономия энергии, которая с учетом обычного для производства потребления горячей воды (0,3-0,4 гл/1 гл пива) составляет 55-60 %. В подобных системах осаждение белков происходит не так глубоко, в связи с чем емкости для сброса давления заполняют только на 15-20 %, что дает увеличение площади испарения. Выход горьких веществ равен или чуть больше чем при обычном кипячении. Что касается качества получаемого пива, то оно вполне удовлетворительно, однако очень высоких температур теплоносителя (температура пара < 150 °С) следует избегать, как и образования отложений

на последних фазах нагревания (со 107 до 130 °С). Отложения следует периодически удалять. Аналитическим методом в сусле обнаруживаются повышенное содержание фурфурала и фурфурилового спирта, N-гетероциклических соединений и, в первую очередь, горьких производных пролина — пирролизинов. Решить эту проблему помогает установка второго нагревателя для фазы 107—130 °С, что в случае необходимости позволяет остановить рабочий нагреватель и провести его мойку и очистку, не нарушая процесс кипячения. Для щелочной мойки этой нагревательной ступени может потребоваться 8 ч. Основная мойка всей установки в конце варочной недели подразумевает полную программу горячей щелочной мойки с добавлением перекиси водорода и нейтрализацию кислоты.

2.5.7. Спуск сусла

После достаточного продолжительного кипячения сусло направляют для охлаждения и дальнейшей обработки в установку для его охлаждения. По пути сусло освобождается в хмелецедильнике от хмелевой дробины (в случае использования прессованного хмеля).

2.5.7.1. Хмелеотборный аппарат в простейшем виде — это круглый или прямоугольный сосуд с сетчатым днищем и боковыми ситами. Устанавливают его чаще всего в варочном цехе под сусловарочным котлом, а в небольших варочных отделениях — непосредственно на холодильную тарелку.

Для автономной разгрузки хмелевой Дробины используют *конический хмелеотборник* с механическим или жидкостным месильным органом, для которого

требуется большой расход воды для транспортировки дробины (около 1 гл/кг шишкового хмеля). Чаще всего используют хмелеотборники непрерывного действия. Сусло с хмелевой дробинкой поступает на наклонное сито, после которого остатки хмеля попадают в транспортировочный шнек с перфорированными стенками. При этом дробина постоянно отводится, уплотняется коническим шнеком и промывается в противотоке. Так как 1 кг хмеля удерживает около 5 л сусла, то хмель необходимо промыть водой, чтобы получить по возможности больше сусла. Для этого требуется 1,5 % воды (от объема перекачиваемого сусла). Содержание экстракта в последней промывной воде при промывке хмеля не должно превышать 3-4 % в пересчете на 12 %-ное сусло.

2.5.7.2. В устройствах для охлаждения и обработки сусла в виде побочного продукта присутствует хмелевая дробина (см. раздел 2.5.4.7). При небольшом количестве варок порошковой хмелевой дробине можно дать отстояться вместе с осадком взвесей горячего сусла, а прозрачное сусло слить через поплавковое устройство или погружное сито. Осадок, составляющий около 3 % объема перекачиваемого сусла, добавляют при перекачивании затора или при фильтровании сусла следующей варки.

2.5.8. Горячее охмеленное сусло

Раствор, полученный в процессе затиранья и кипячения с хмелем, представляет собой охмеленное пивное сусло, которое в дальнейшем должно быть сброжено. Оно состоит из воды, ионов пивоваренной воды и растворенных и расщепленных веществ солода и хмеля.

Светлое сусло состоит следующих веществ:

1) Углеводов:	гексоза	7—9 %
	сахароза	3—9 %
	мальтоза	43—47 %
	мальтотриоза	11—13 %
	низкомолекуляр- ные декстрины	6—12 %
	высокомолекуляр- ные декстрины	19—24 %
	пентозаны	3—4 %
	β-глюканы	0,2—0,4 %
2) Азотистые вещества*:	общий азот	950—1150 мг/л,
в том числе:	азот высокомоле- кулярных белков (коагулируемый азот 2 %)	22 %
	азот среднемоле- кулярных белков	18 %
	азот низкомолеку- лярных белков (фор- мольный азот 34 %) (свободный α-амин- ный азот 22 %)	60 %
3) Полифенолы*:	общие полифенолы	180—250 мг/л
	антоцианогены	70—110 мг/л
	танноиды	60—100 мг ПВПП/л
4) Горькие веще- ства:	веще- ства:	35—65 ед. ЕВС
	α-кислоты	3—20 мг/л
	изо-α-кислоты	25—55 мг/л
	гулулоны	3—5 мг/л
5) Минеральные вещества:		1,5—2 %,
в том числе:	в неорганической форме	80 %
	в органической форме	20 %
	цинк*	0,12—0,25 мг/л

* Значения приведены в пересчете на 12 %-ный экстракт.

Сбраживаемый экстракт у светлого охмеленного сусла составляет в зависимости от типа пива 55—70 %; содержание β-глюканов зависит от вязкости сусла и при определении по методу Карлсберга оно составляет 230—300 мг/л, значение рН сусла — от 5,0 до 5,6, вязкость — 1,70—2,00 мПа, поверхностное натяжение варьирует от 40 до 45 дин/см.

2.5.9. Дробина

Дробина состоит в основном из мякни-ных оболочек и мучнистых веществ, небольшого количества крахмала, а также минеральных веществ. 100 кг солода дают 120—130 кг мокрой дробины (для пшеничного пива на 10—15 % меньше в зависимости от содержания пшеничного солода). Непосредственно после варки в дробине содержится 75—80 % воды и 20—25 % сухих веществ, из которых 28 % приходится на белки, 8 % — на жиры и 41 % — на безазотистые экстрактивные вещества.

Дробина подается из емкости для сбора дробины или непосредственно из фильтр-чана (фильтр-пресса) при помощи шнеков или транспортеров, работающих на сжатом воздухе или паре, в специальные *силосы для дробины*, где она хранится. Мокрую дробину продают на корм скоту или с помощью *сушилок для дробины* доводят ее влажность до 12 %, что позволяет хранить ее длительное время без потери пищевой ценности.

2.5.10. Техника безопасности и управление процессом варки

Увеличение количества варок в сутки одним варочным агрегатом значительно увеличивает нагрузку на персонал вслед-

стве тесной связи отдельных процессов затирания, фильтрования и кипячения сусла. Такое положение не гарантирует требуемой безопасности и вызывает увеличение потерь и снижение выхода экстракта. Для снижения рисков имеются следующие возможности.

2.5.10.1. Световые сигналы, информирующие о том, что клапаны, выпускные отверстия, люки для дробины и т. д. закрыты, благодаря чему можно избежать контрольных обходов.

2.5.10.2. Блокирующие приспособления, которые при неправильном положении переключателей блокируют работу определенных электрических цепей или включение насосов.

2.5.10.3. Дистанционное управление клапанами и насосами с системой автоматической блокировки, а также объединение переключателей либо в группы, либо с выводом их на центральный пульт управления.

2.5.10.4. Частичная автоматизация отдельных технологических процессов, при которой отдельные процессы, в частности приготовление затора, стягивание затора, возврат отварки в основной затор, перекачивание затора на фильтрацию, объединяются посредством групповых переключателей и отключаются одним единым выключателем. Устройства регулировки температуры с таймером предварительной установки и поддержания температуры или управление отдельными порциями затора с помощью кулачкового механизма обеспечивают более высокую гомогенность затора. Заторная и промывная вода регулируется при этом по количеству и температуре.

2.5.10.5. Подключение дробильной установки к системе автоматики путем последовательного включения отдельных выпускных отверстий силосов, транспортеров и дробилок солода.

2.5.10.6. Предохранитель избыточного испарения в сусловарочном котле закрывает паровой клапан при достижении уровнем сусла соответствующего датчика уровня.

2.5.10.7. Полная автоматизация обеспечивает автоматическое осуществление отдельных процессов затирания, фильтрования, кипячения и охлаждения сусла. При этом необходима надежная система количественного измерения промежуточных продуктов с помощью физических методов измерения, позволяющая организовать производство практически без вмешательства обслуживающего персонала или с использованием средств периодического контроля. Для реализации полной автоматизации существуют три разные системы: стационарное проводное управление, свободно программируемое управление и управление с помощью ЭВМ.

Автоматизация должна быть ориентирована на решение производственных задач, в частности на повышение производительности оборудования, обеспечение однородности продукта и снижение текущих затрат. На небольшом предприятии полная автоматизация может оказаться уместной, если благодаря ее внедрению оператору можно будет поручить выполнение и других задач, а на крупном пивоваренном производстве автоматизация подразумевает оставление за сменным мастером-пивоваром выполнение определенного круга задач. В конечном итоге управляющую ЭВМ

можно использовать для регистрации и оценки параметров варки.

2.6. Выход экстракта в варочном цехе

Под выходом экстракта в варочном цехе понимают определение количества экстрактивных веществ, перешедших в растворимую форму в процессе затирания и полученных при помощи фильтрации. Выход экстракта выражается в процентах от количества использованного сусла и определяется в конце процесса получения сусла, хотя более надежным является учет объема холодного сусла в бродильном цехе.

2.6.1. Расчет производительности варочного цеха

Для определения производительности варочного цеха требуются следующие показатели:

- 1) засыпь, то есть масса дробленого солода в кг;
- 2) количество приготовленного сусла в л или гл;
- 3) содержание экстракта в полученном сусле или плотность сусла.

Определение этих показателей должно проводиться точно и безупречно.

2.6.1.1. Засыпь обычно определяют с помощью весов для солода. Необходимо следить за тем, чтобы перед началом дробления транспортные системы солода между весами и дробилкой, а также бункер для дробленых зернопродуктов были совершенно пустыми. Этот бункер должен быть также полностью опорожнен при приготовлении затора; по

пути от дробилок до заторного чана потери дробленых зернопродуктов не допускаются.

2.6.1.2. Количество сусла определяют в тарированном сусловарочном котле. Тарирование котла производят путем замера холодной воды с помощью стандартной емкости на 1 или 2 гл. Холодную воду вливают определенными порциями и фиксируют уровень воды на мерной рейке, место установки которой должно быть всегда строго определенным. Контроль осуществляется путем отвешивания порций в гектолитрах. Тарировка титрометрическим способом используется для контроля количества охмеленного сусла. Эталонную рейку во избежание ее деформирования следует хранить бережно. Ошибка при считывании в 1 мм дает погрешность, равную 1 л сусла на каждый м² площади котла. В ходе измерения объема сусла рейкой поверхность его должна быть совершенно спокойной. Быстро успокоить поверхность сусла позволяет подвешенный в месте измерений цилиндр.

Указатели уровня сусла, нанесенные внутри котла, предназначены для ориентировочной оценки изменения количества сусла в ходе его кипячения. При реконструкции котла и установке дополнительных устройств (например, внутреннего нагревателя) тарировку котла необходимо повторить.

Несмотря на эти меры вследствие различного расширения котлов, особенно конструкций с углами, могут возникать трудности в определении количества сусла. Специальные устройства позволяют проводить взвешивание сусловарочного котла вместе с содержимым.

Считывание уровня с мерной рейки через смотровое стекло варочного котла проводить очень просто. Оно дает

правильный результат, если учтена температурная деформация стенки горячего котла и мерной рейки. Калиброванное водомерное стекло недостаточно надежно вследствие быстрого охлаждения в нем жидкости. Измерение количества холодного сусла при помощи поршневого насоса-дозатора возможно, однако оно не позволяет контролировать горячее сусло или потери, возникающие между отдельными стадиями.

2.6.1.3. Определение содержания экстракта проводится с помощью сахарометра, показания которого рассчитаны на температуру 20 °С. Для измерения содержания экстракта при иной температуре используют поправочную шкалу. Содержание экстракта указывается в массовых процентах, то есть в 100 г 12 %-ного сусла содержится 12 г экстракта и 88 г воды.

Точность показаний сахарометров невысока, однако вполне достаточна для практического применения при использовании определенных диапазонов измерения концентрации сухих веществ (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 %). Условием пригодности сахарометров является правильность их показаний, корректное считывание значений и отсутствие испарений. Для проведения более точных измерений содержания экстракта следует использовать пикнометрический метод. Сахарометры следует периодически подвергать проверке и при необходимости — повторно калибровать.

Выход экстракта в варочном цехе рассчитывают по следующей формуле:

$$\text{Выход экстракта в варочном цехе} = \frac{\text{Масса сусла} \times \text{Содержание экстракта}}{\text{Масса засыпи}}$$

2.6.1.4. Поправка к количеству сусла. Снятые значения количества сусла и содержания экстракта нельзя сразу же использовать в формуле расчета. Необходимо сначала внести поправку в значение массы сусла, так как слив охмеленного сусла осуществляется при температуре около 98 °С, а не при 20 °С, при которой проводилось тарирование котла и определение содержания экстракта, и поэтому массу сусла необходимо пересчитать на «нормальную» температуру. *Сжатие* сусла при охлаждении до указанной температуры составляет в зависимости от высоты над уровнем моря 3,87-3,97 %. Кроме того, следует учитывать объемную деформацию суслотарочных котлов, которые в нагретом состоянии имеют больший объем. Такая деформация равна в среднем 0,3%. Кроме того, необходима поправка на содержание в сусле хмеля, 1 кг которого вытесняет около 0,8 л. При выщелачивании хмеля или хмелевого экстракта необходимость в этой поправке отпадает. Объем, вытесняемый белковыми веществами при кипячении сусла, незначителен и поэтому не учитывается.

В качестве среднего значения для всех факторов, оказывающих положительное или отрицательное влияние на уменьшение объема, принимается поправка, равная 4 %, то есть для расчета выхода экстракта варочного цеха вводится коэффициент 0,96.

Массовые проценты, указанные на сахарометре, следует пересчитать в объемные, так как измерялось количество сусла, а не его масса. Эти объемные проценты получают путем умножения снятого значения массовых процентов на плотность. В показаниях сахарометра учитываются все факторы, обуславливающие увеличение удельной массы, в частности, составные части хмеля, перешедшие в раствор

в результате кипячения, или (если не произошло их выделения) ионы пивоваренной воды. С учетом всех поправок применяется следующая рабочая формула выхода:

$$\text{Выход экс-тракта} = \frac{\text{Количество} \times 0,96 \times \text{Показание сахарометра} \times \text{Плотность}}{\text{Масса засыпи, кг}}$$

Произведение «Показание сахарометра \times Плотность \times 0,96» называют «коэффициентом выхода» по Якобу.

2.6.2. Оценка выхода экстракта в варочном цехе

При оценке выхода экстракта в варочном цехе используется сравнение с некоторым эталоном, которым служит лабораторный выход экстракта в пересчете на воздушно-сухое вещество (ВСВ). Лабораторный выход экстракта является базовым параметром, хотя на практике выход экстракта отличается от конгрессного. Так, например, в лаборатории затирание проводят по иным принципам (90 % помола — мука, используется четырех- или шестикратный налив и инфузионный способ затирания с определенным чередованием температур). Кроме того, используемая дистиллированная вода смещает значение pH лабораторного затора по сравнению с производственным и способна повлиять на действие ферментов, вместе с производственной водой в затор вносятся ионы, которые могут увеличить выход экстракта (при высокой некарбонатной жесткости) или его уменьшить (при высокой карбонатной жесткости). В случае неблагоприятного состава пивоваренной воды рекомендуется провести параллельное испытание в лаборатории с тем же составом воды.

Получение сусла на производстве проходит в два этапа: фильтрация первого сусла и выщелачивание остатков экстракта из дробины. В лаборатории, напротив, получают 8 %-ное сусло, а сусло, оставшееся в лабораторной дробине, не извлекают. При этом речь идет о расчете количества экстракта, перешедшего в растворимую форму, то есть практически о предельном выходе, которого, естественно, невозможно добиться на производстве, где расчет базируется на фактически полученном количестве сусла. На практике не возможно осуществить полное выщелачивание остатков экстракта из дробины, и таким образом будет оставаться некоторое количество сусла, извлечение которого представляется нерентабельным.

Таким образом, разница между лабораторным и производственным выходом экстракта обусловлена в первую очередь неполным выщелачиванием дробины в варочном цехе. Производственный выход экстракта плюс экстракт, вымываемый из дробины, примерно дают в сумме лабораторный выход.

Все вышесказанное еще не дает полную картину использования солода при затирании, так как и в лабораторной, и в производственной дробине содержится нерастворенный крахмал солода. Его количество зависит от качества солода, тонкости помола, интенсивности затирания и составляет от 0,2 до 1,5 %. Для лабораторного помола это значение близко к нижней границе.

Лишь в том случае, когда имеются не только показатели лабораторного и производственного выхода, но и существует возможность сравнить количества сусла и удерживаемого в дробине крахмала, можно судить о выходе экстракта в варочном цехе. Это делают в форме приведенного в табл. 2.18 *баланса выходов экстракта*.

Таблица 2.18. Баланс выходов экстракта

Производственный экстракт		Лабораторный экстракт	
Выход экстракта в варочном цехе	75,9 %	Выход экстракта по конгрессному методу (в пересчете на ВСВ)	76,7%
Вывываемый экстракт дробины	0,5%	Вывываемый экстракт	-
Остаточный экстракт дробины	0,7%	Растворенный экстракт в лабораторной дробине	0,5%
Общий выход экстракта	77,1 %		77,2%

Общие выходы экстракта на производстве и в лаборатории должны быть максимально близки друг к другу, иначе их сравнение лишено смысла. Указанное выше допустимое отклонение 0,5 % слишком велико. Если не удастся приблизить эти значения друг к другу, особенно при многократном повторении опытов, то следует сначала проверить отдельные показатели.

Данный метод составления баланса выхода экстракта не гарантирует от ошибок, однако полученный результат может стать отправной точкой для анализа возможных ошибок на производстве.

Ориентиром также может служить разница между лабораторным выходом экстракта и выходом варочного цеха без учета потерь на дробину. Для варочных отделений с фильтр-чаном она должна составлять не более 1 %, а для отделений с фильтр-прессом — не более 0,5 %. Потери в производственной дробине из фильтр-чанов можно считать нормальными, если значение вымываемого экстракта находится ниже 0,5 %, а растворимого экстракта — менее 0,8 %. Более высокие значения потерь свидетельствуют о недостатках сырья, технологии или оборудования.

В случае очень высоких потерь дробины или, соответственно, высоких значений экстракта в сусле, отпрессованном из дробины, баланс выхода экстракта

в варочном цехе зачастую плохо согласуется, так как возникают трудности при отборе средних проб. Удаление взвесей хмеля после стекания первого сусла или применение первой промывной воды приводит к появлению промывной воды на поверхности дробины, однако при надлежащем ведении долива можно добиться равномерного хорошего выщелачивания. При слишком позднем добавлении извлечение внесенного экстракта может оказаться уже невозможным. Количество хмелевых взвесей и содержание в них экстракта из рассчитанного выхода варочного цеха следует вычесть.

2.6.2.1. Остаточный экстракт может содержаться в дробине в слишком большом количестве по следующим причинам.

1. Качество солода и несоложенных материалов, то есть недостаточное или неравномерное растворение солода, низкое содержание ферментов вследствие использования непригодного ячменя, нарушения технологии проращивания или сушки. При использовании несоложенного зерна его клейстеризация может оказаться неполной.
2. *Помол* слишком груб и не соответствует качеству используемого солода или применяемому способу затирания. Неправильно отрегулированные, изношенные или перегруженные дробилки

приводят к получению некачественного помола. При отделении мякинных оболочек в случае их плохого раздробления или слишком позднего добавления возникают проблемы. На дробилках для мокрого помола следствием переувлажнения может стать недостаточное размалывание оболочек.

3. Неудовлетворительное проведение *процесса затирания* (плохая работа месильного органа, образование комков). Затирание может быть слишком коротким или недостаточно интенсивным.
4. *Избыточное перемешивание затора и попадание воздуха* (см. раздел 2.3.1.8) может ослабить действие ферментов на частицы крахмала.

2.6.2.2. *Повышенное содержание вымываемого экстракта в дробине* может быть обусловлено следующими причинами.

1. *Солод* при недостаточном растворении дает дробину, которая выщелачивается с большим трудом.
2. *Помол* слишком тонок, и увеличившаяся за счет этого поверхность дробины не позволяет полностью провести выщелачивание.
3. *Способ затирания* не обеспечивает требуемой интенсивности, и получающееся сусло с большей вязкостью уплотняет слой дробины и затрудняет ее выщелачивание.
4. *Фильтр-чан* установлен не строго горизонтально, вследствие чего слой дробины имеет неодинаковую высоту и затрудняется полное ее выщелачивание.
5. *Чан* загружен излишне полно для своей емкости, а слой дробины слишком высок.
6. *Съемное днище засорено* отложениями, в результате чего промывная вода стекает неравномерно.

7. *Слишком маленькие щели (выпускные отверстия)* или их неправильная конфигурация затрудняют равномерное выщелачивание.
8. *Разрыхлительный механизм* работает неудовлетворительно (недостаточное количество ножей, их изношенность или слишком большие расстояния между ними, неверная ориентация ножей), что вызывает появление местных уплотнений фильтрационной лепешки и неблагоприятные условия для промывания дробины.
9. *Промывное устройство* либо не обеспечивает равномерную подачу воды, либо воды подается слишком мало.
10. *Главный налив* слишком велик, из-за чего не хватает воды для доливов, и выщелачивание осуществляется неудовлетворительно.
11. *Неравномерное распределение затора* из-за расслоения, вследствие чего отдельные зоны могут выщелачиваться неравномерно.
12. *Чрезмерное уплотнение дробины* из-за неправильного пропуска крапов (слишком быстрого или слишком медленного), из-за форсированного спуска первого сусла или неправильного проведения рыхления и промывания дробины; такой плотный слой дробины промывается с трудом.
13. *Недостаточно полное извлечение первого сусла* приводит к повышению содержания экстрактивных веществ в промывной воде перед ее поступлением в дробину, и выщелачивание становится менее полным.
14. *Промывание дробины водой недостаточной высокой температуры* или слишком быстрое фильтрование промывной воды.
15. *Слишком редкое разрыхление или установка разрыхлительного механизма*

в нижнем положении вызывают деформацию дробины и приводят к тому, что промывные воды стекают вдоль ножей через слой дробины.

16. *Снижение температуры затора* вызывает смещение поверхностного слоя дробины к центру фильтр-чана и тем самым усиленное проникновение промывной воды по краю чана.

Имеется ряд факторов, вызывающих плохое или неравномерное промывание слоя дробины при использовании заторных фильтр-прессов.

17. *Конструкция фильтр-пресса* неудачна в отношении промывания слоя дробины.

18. *Салфетки* имеют неравномерную плотность или засорены частицами затора.

19. *При подаче затора* камеры заполняются неравномерно по объему или консистенции (расслоение, выделение воздуха).

20. При последующей подаче воды или при промывании в слое дробины образуются *промоины (Auswaschungen)*.

21. *При полном извлечении* первого сусла дробина уплотняется, и камеры оказываются заполненными лишь частично.

22. Слишком быстрое фильтрование промывной воды затрудняет извлечение экстракта.

Причины, обуславливающие снижение выхода экстракта, могут быть самыми разнообразными. Более высокие потери возникают в ходе приготовления особых сортов пива, когда требуется использовать либо очень разведенное первое сусло, либо начальное сусло с высоким содержанием экстрактивных веществ. Уменьшение испарения при кипячении сусла с учетом требований энергосбережения также приводит к сокращению количества промывной воды и воды для долива. В этих случаях

невозможно достичь обычной концентрации экстрактивных веществ в последней промывной воде в 0,5-1 %. Повторное использование последней промывной воды с повышенной их концентрацией должно осуществляться с соблюдением определенных мер предосторожности, чтобы не ухудшить качество пива. Если ее приходится применять для обеспечения нормального выхода экстракта в варочном цехе при неэффективной работе фильтрационного оборудования, то такое непродуманное ее использование не может считаться удовлетворительным.

2.7. Охлаждение сусла и удаление осадка взвесей горячего сусла

Горячее и охмеленное сусло для проведения классического низового брожения охлаждают до температуры 4-7 °С, для ускоренных методов — до 10-15 °С, а для проведения верхового брожения — до 12-18 °С.

Необходимое для этих целей оборудование объединяют в отдельный «холодильный цех», который прежде находился в непосредственной близости от броидильного подвала, а в настоящее время его целесообразно размещать или в варочном отделении, или рядом с ним.

Обработка горячего охмеленного пивного сусла включает:

- 1) охлаждение сусла до температуры, при которой осуществляется внесение дрожжей;
- 2) насыщение сусла кислородом;
- 3) полное отделение осадка взвесей горячего сусла и целенаправленное удаление осадка взвесей холодного сусла.

2.7.1. Охлаждение сусла

Охлаждение сусла — это относительно простой с физической точки зрения процесс, тогда как насыщение сусла кислородом и удаление осадка взвесей горячего сусла являются сложными процессами, которые в зависимости от типа охлаждающего оборудования и применяемых методов могут осуществляться по-разному. В процессе охлаждения сусло проходит области температур, благоприятствующие развитию нежелательных микроорганизмов (при использовании старых, «открытых» систем охлаждения опасность инфицирования высока в диапазоне температур от 40 до 20 °С).

2.7.2. Поглощение кислорода суслим

В зависимости от температуры, при которой происходит поглощение кислорода, оно может осуществляться химическим или физическим путем.

2.7.2.1. Химическое связывание кислорода воздуха характеризуется процессами окисления при высоких (выше 40 °С) температурах. При этом происходит окисление углеводов, азотистых и горьких веществ, а также полифенолов. Например, окисление может способствовать коагуляции белково-дубильных соединений, вследствие чего увеличивается количество осадка взвесей горячего сусла и сусло лучше осветляется. Изогумулоны окисляются кислородом с образованием менее горьких веществ (например, абео-изогумулонов), содержание горьких веществ сусла снижается, и пиво становится более мягким. Следствием усиленного окисления дубильных веществ при повышенных значениях рН является

усиление цвета сусла. Изменяется и окислительно-восстановительный потенциал — в первую очередь заметно уменьшается содержание быстроредуцирующих веществ.

Поглощение или связывание кислорода зависит в том числе и от температуры — при 80 °С в течение 1 ч связывается 3 мг/л кислорода, а при 45 °С — лишь 1,2 мг/л. Менее плотное сусло более восприимчиво к поглощению кислорода, чем более плотное. Перемешивание и низкий слой жидкости усиливают действие кислорода воздуха, однако при его внесении, например, по ошибке через насос он может оказывать длительное действие и в более высоком слое жидкости. Следует учитывать, что поглощение кислорода при высоких температурах вызывает целый ряд негативных моментов, так что желательно обойтись без него.

2.7.2.2. Физическое (механическое) связывание или растворение кислорода происходит при более низких температурах (начиная с 40 °С), и оно тем сильнее, чем ниже температура. Такое связывание кислорода необходимо для обеспечения достаточного размножения дрожжей и, следовательно, удовлетворительного хода брожения. Значения насыщения (через воздух) в 12 %-ном сусле составляют при 5 °С 10,4 мг/л, а при 10 °С — 9,3 мг/л. Насыщение достигается тем быстрее, чем меньше его пузырьки (при искусственной подаче) и чем интенсивнее сусло перемешивается с воздухом. При повышении давления и увеличении продолжительности контакта растворение кислорода может возрастать. Менее плотное сусло поглощает больше кислорода, чем более плотное. Если для насыщения газом сусла применяют чистый кислород, то получают значительно более высокую

степень насыщения (от 30 до 50 мг O_2 /л), однако в дальнейшем процессе брожения это может вызвать отрицательные последствия. В целом для безупречного брожения достаточно содержания кислорода в начальном сусле 8-10 мг/л.

2.7.3. Удаление осадка взвесей

При этом следует различать *осадок взвесей горячего сусла*, который образуется путем температурной коагуляции высокомолекулярных азотсодержащих веществ и легко удаляется с помощью отстаивания или фильтрования, и *осадок взвесей холодного сусла*, который образуется при охлаждении прозрачного горячего сусла до температуры 55-70 °С.

2.7.3.1. Размер частиц *осадка взвесей горячего сусла* составляет от 0,5 до 500 мкм (в среднем около 55 мкм). На 40-70% он состоит из белка, на 7-32 % — из горьких веществ, на 20-30 % — из других органических веществ, включая 4-8 % полифенолов, 1-2% жирных кислот, 4-10% углеводов, а также из минеральных веществ, содержание которых могут существенно варьировать в зависимости от состава пивоваренной воды, причем значительным может быть содержание меди и железа. Количество осадка взвесей горячего сусла составляет 40-80 г не содержащего экстракта сухого вещества на гектолитр пива и зависит от содержания азота и степени растворения солода, а также от сорта ячменя, из которого получен солод, условий и года возделывания ячменя, от способа затирания, качества фильтрования сусла, продолжительности и интенсивности кипячения сусла, количества горьких веществ хмеля и степени аэрирования в процессе кипячения.

Наибольшее количество осадка взвесей горячего сусла образуется при инфузионном способе и способе затирания солода с короткими отварками, а при трехотварочном способе и способах с интенсивным кипячением составных частей затора количество осадка взвесей горячего сусла незначительно. Более плотное сусло, повышенные дозировки внесения хмеля, а также низкое значение pH сусла дают больше взвесей горячего сусла.

Удаление взвесей горячего сусла перед брожением должно быть максимально полным. Этому осадку нередко приписывают положительное действие на процесс брожения, однако чаще всего он вызывает «замазывание» дрожжей, из-за чего затрудняются процессы выделения при брожении. В результате пиво приобретает более темный цвет, горечь «размывается», а вкус его приобретает «сырой» оттенок (привкус белкового отстоя); кроме того, пенообразующие свойства такого пива неудовлетворительны.

2.7.3.2. *Осадок взвесей охлажденного сусла* характеризуется размером частиц 0,5-1 мкм; более крупные частицы, размер которых может составлять до 30 мкм, представляют собой неосевшие компоненты осадка взвесей горячего сусла и хмеля, не являясь собственно осадком взвесей охлажденного сусла. Этот осадок примерно на 50 % состоит из белка, включая продукты расщепления глобулинов и проламинов, связанные с 15-25 % полифенолов. При нагревании они растворимы, но в процессе охлаждения выпадают в виде мути, состав которой позволяет провести параллель с коллоидным помутнением пива при сильном охлаждении. Кроме того, в осадке имеется еще 20-30% высокомолекулярных углеводов (преимущественно β-глюканы).

Содержание взвесей охлажденного сусла, определенное при 0 °С, составляет 15-30 г/гл (150-300 мг/л), то есть 15-35 % от количества взвесей горячего сусла, и зависит от самых разных факторов. Так, например, оно снижается параллельно с разностью экстрактов солода грубого и тонкого помолов, причем предельными значениями характеризуется неравномерно проросший солод с непроростками. У слабо растворенного солода по сравнению с хорошо растворенным отмечается более низкое содержание полифенолов и более высокое содержание углеводов. Из более тонкого помола для фильтр-пресса образуется больше взвесей охлажденного сусла, чем из кондиционированного помола для фильтр-чана. Если при использовании одно- и двухотварочного способов с нормально растворенным солодом различия практически отсутствуют, а при трехотварочном способе они минимальны, то при способе затиранья с короткими отварками и при затираньи с разделением помола на фракции количество взвесей охлажденного сусла существенно выше. Интересно, что преимущественное образование взвесей охлажденного сусла при двух последних способах затиранья происходит в диапазоне температур от 5 до 0 °С, а при интенсивных способах затиранья оно невелико. Во время кипячения сусла содержание в нем взвесей охлажденного сусла постоянно убывает, но снова возрастает вследствие внесения хмеля в несколько приемов, что в случае позднего дозирования хмеля способно повлиять как на количество взвесей охлажденного сусла, так и на образование осадка при температурах от 5 до 0 °С. Чем меньше содержание полифенолов хмеля, тем меньше образуется взвесей охлажденного сусла.

Удаление взвесей охлажденного сусла улучшается за счет их адсорбции на осадке взвесей горячего сусла, сильного перемешивания сусла или в результате окислительных реакций, в ходе которых снижается содержание взвесей охлажденного сусла и возрастает образование взвесей горячего сусла. Быстрое охлаждение сусла в сочетании с сильным перемешиванием способствует выпадению осадка взвесей охлажденного сусла в виде хлопьев, которые, если их оставить в сусле, могут вызвать те же затруднения, что и взвеси горячего сусла. Замедленное выделение аморфных взвесей охлажденного сусла может вызвать ухудшение фильтруемости пива.

Необходимость удаления взвесей охлажденного сусла рассматривается в литературе неоднозначно. Так, полное удаление взвесей охлажденного сусла вследствие связанного с этим процессом дефицита высокомолекулярных (прежде всего ненасыщенных) жирных кислот обуславливает замедленное брожение и неудовлетворительные вкусовые характеристики пива, тогда как дескриптивные исследования при многократном внесении дрожжей (без удаления и с удалением около 50 % осадка взвесей охлажденного сусла, особенно способом флотации) дали положительные результаты. При этом получалось пиво с более округлым и стабильным вкусом. При оценке «за» и «против» следует также учитывать количество дозировок хмеля и возможность удаления шлама (например, в цилиндрикоконических танках), а также тип производимого пива.

2.7.4. Прочие процессы

При использовании распространенных в настоящее время методов обработки сусла в течение более или менее длительного

времени оно остается в области температур 90-95 °С. В связи с этим развиваются некоторые процессы, которые могут оказать влияние на качество сусла и получаемого впоследствии пива.

2.7.4.1. Цвет сусла зависит в первую очередь от количества поглощенного при спуске кислорода, которое обусловлено подачей сусла в сборник для готового охмеленного пива, подсосом воздуха при перекачивании сусла и т. д. Это приводит к окислению полифенолов, что проявляется в увеличении индекса полимеризации. Вторым фактором является реакция Майяра, которая в зависимости от температуры и продолжительности ее воздействия может вызвать потемнение сусла до 2 ед. ЕВС и увеличение тиобарбитурового числа (ТБЧ) на 30 %. Продолжительность пребывания сусла при температуре 90-95 °С между окончанием кипячения и концом охлаждения сусла не должно превышать 110 мин. С учетом этого увеличение цветности может быть ограничено 1,0-1,5 ед. ЕВС, а ТБЧ может поддерживаться ниже 45. Это имеет большое значение как для цвета пива, так и для стабильности его вкуса.

2.7.4.2. Горькие вещества характеризуются дальнейшей изомеризацией α -кислот. Если при спуске сусла не были удалены остатки хмеля, то из них продолжается экстракция α -кислот. В зависимости от средней продолжительности кипячения сусла с хмелем и потребления α -кислот содержание изогумулона возрастает на 15-25 %.

2.7.4.3. Летучие вещества, которые образуются при реакции Майяра, больше не испаряются. То же относится и к ДМС, который образуется из своего предшественника и больше уже не удаляется.

2.7.5. Оборудование холодильного отделения

«Классическое» оборудование холодильного отделения состоит из холодильной тарелки, оросительного поверхностного охладителя и устройства для извлечения сусла из осадка взвесей, но такая конфигурация встречается уже довольно редко. Применяемые в настоящее время «закрытые» установки для обработки сусла включают отстойный чан или вирпул с пластинчатым теплообменником (или отстойный чан с сепаратором или кизельгуровым фильтром), фильтр с фильтрующим слоем хмеля и пластинчатым теплообменником, а также различные устройства для отделения осадка взвесей охлажденного сусла методами седиментации, сепарации, флотации или фильтрования. Встречаются также комбинированные варианты различных устройств.

2.7.6. Использование холодильной тарелки, оросительного или закрытого холодильников

Охлаждение осуществляется в два этапа: до температуры 40-70 °С на холодильной тарелке в тонком слое, а затем с помощью оросительного охладителя — до температуры внесения дрожжей.

2.7.6.1. Холодильная тарелка — это квадратный или прямоугольный резервуар со стенками высотой 20-34 см. Изготавливают ее, как правило, из стальных листов высокого качества, нержавеющей стали, иногда из меди и, реже, из алюминия. Стальные листы устанавливают совершенно ровно,

заклепки утапливают. В чашеобразном углублении расположены три отверстия с вентилями для сусла, осадка взвесей и мочной воды. Уклон тарелки к ним должен быть небольшим во избежание подъема и отрыва мути. Площадь холодильной тарелки рассчитывают исходя из высоты слоя сусла (15-25 см) — из соображений устойчивости она не должна превышать 150 м², что при средней высоте слоя сусла дает объем тарелки 300 гл. Чтобы исключить образование ржавчины, холодильную тарелку покрывают специальными лаками. После слива сусла и очистки тарелки ее необходимо высушить или насухо вытереть. При запуске холодильной тарелки в эксплуатацию, а также после ежегодного удаления пивного камня (путем полирования) следует провести «холостые» варки с материалом, содержащим дубильные вещества (хмелевая дробина, ростки солода и т. д.). Не следует забывать, что агрессивные воды разъедают стальные листы холодильной тарелки.

Размещение помещения для холодильной тарелки на верхних этажах варочного цеха или здания подвала обеспечивает доступ охлаждающего воздуха и беспрепятственное отведение испарений. После перекачивания сусла в течение 15-20 мин оно остается в холодильной тарелке от одного до нескольких часов, причем в теплое время года процесс дальнейшего охлаждения начинают уже при температуре 60-70 °С. Зимой длительность охлаждения увеличивают иногда до 12 ч. Как бы то ни было, продолжительность выдержки должна обеспечить выпадение в осадок взвесей горячего сусла. Образование хлопьев взвесей охлажденного сусла можно стимулировать путем перемешивания, а также направленным потоком стерильного воздуха

от вентиляционной установки. При этом движение воздуха должно быть своевременно прекращено, чтобы до начала слива сусла успели выпасть в осадок взвеси горячего сусла и образовавшиеся к этому моменту взвеси охлажденного сусла.

2.7.6.2. *Оросительный холодильник* является второй ступенью охлаждения и состоит из горизонтальных медных или оцинкованных медных труб, размещенных строго друг над другом или в шахматном порядке. Тем самым не только увеличивается поверхность охлаждения, но и улучшается поглощение кислорода и образование хлопьевидного осадка взвесей охлажденного сусла (при сливе сверху). Для равномерного заполнения установки через распределительные лотки с отверстиями длина холодильника не превышает 6 м, а высота во избежание разбрызгивания сусла — 2,5 м. Поверхность охлаждения разделена: к верхним трубам, количество которых составляет 2/3 от общего числа труб, подводят 2-2,5-кратный объем воды для охлаждения сусла примерно до 20 °С. Последующее охлаждение требует примерно трехкратного объема охлаждающей пресной воды или рассола. Производительность аппарата составляет 14 гл на 1 м длины холодильника в час. Она должна быть такой, чтобы предварительное охлаждение сусла из одной варки в холодильной тарелке можно было закончить максимум за 2 ч. Для достижения большей производительности требуется несколько холодильников. Чистка холодильника после каждой варки и раз в неделю с добавлением разбавленной серной кислоты и дрожжей требует больших трудозатрат. Аэрация установки стерильным воздухом может снизить биологические риски

и улучшить потребление кислорода основной массой охлаждаемой жидкости.

Модернизацией оросительного холодильника является секционный холодильник, отдельные элементы которого, изготовленные из нержавеющей стали, могут открываться и легко очищаться.

2.7.6.3. Закрытые холодильники конструктивно представляют собой либо *трубчатые*, либо *пластинчатые холодильники*. Первые состоят из двух отделений для предварительного охлаждения и одного отделения для дополнительного охлаждения. В них скрытая теплота суслу используется несколько хуже и по сравнению с пластинчатыми холодильниками их сложнее стерилизовать.

2.7.6.4. Пластинчатые холодильники состоят из пакетов пластин специальной формы из нержавеющей стали, одна сторона которых омывается сусликом, а другая — турбулентным потоком хладагента. Пары и группы пластин могут подключаться параллельно или последовательно, что позволяет в широких пределах регулировать скорость течения и тем самым интенсивность теплообмена. Для предварительного охлаждения используется водопроводная вода, а для дополнительного охлаждения — охлажденная пресная вода. Рассол применяют реже, причем при его использовании холодильная секция должна быть выполнена из специальной листовой стали (V4A). Встречается также система непосредственного испарения аммиака или фреона, но в этом случае речь идет о горизонтальных холодильниках в виде пучка труб или трубчатом котле-испарителе. В новых установках для охлаждения суслу используется исключительно охлажденная пивоваренная вода температурой 1-2 °С,

которая непосредственно в холодильнике нагревается до 80-85 °С.

При работе с холодильной тарелкой соотношение суслу и водопроводной воды составляет 1 : 2, суслу и охлаждающей воды — 1 : 2-3. В закрытых системах охлаждения суслу стремятся к получению соотношения суслу и водопроводной воды 1 : 1,1-1,2, что обеспечивает подогрев воды для варочного цеха. Промежуточные элементы позволяют отбирать суслик при любой температуре. Так как подобный пластинчатый аппарат имеет сопротивление 2,5-3,5 бар, суслик должно перекачиваться насосами. Стерильность эксплуатации обеспечивается ежедневной очисткой и мойкой после каждой варки с помощью циркуляции горячей воды (85-90 °С), щелочи (70-75 °С), а также дополнительной «нейтрализации» пластин разбавленной азотной кислотой. Закрытый холодильник не дает возможности суслику поглощать кислород.

Отстой, остающийся на холодильной тарелке после стекания суслу, обрабатывают с помощью *пресса* или *центрифуги*. Суслик из осадка взвесей составляет 4-5 % от объема всего суслу.

2.7.6.5. Пресс для извлечения суслу из осадка взвесей состоит из ребристых плит с проложенными между ними салфетками. На каждые 100 кг засыпи солода требуется 2-3 л объема камеры, так что при засыпи 5000 кг это требуется 20 камер размером 64 x 64 см. Фильтрация суслу из осадка взвесей происходит либо с использованием естественного перепада высот (3-4 м) прямо от холодильной тарелки, либо через напорный резервуар, в котором собирается осадок взвесей, отделенный в холодильной тарелке. Полученное таким способом прозрачное суслик обычно стерилизуют, так

как оно сильно инфицировано. Стерилизацию проводят либо при помощи стерилизатора для сусла из осадка взвесей (20–30 мин при температуре 85–90 °С), либо в отдельном пластинчатом пастеризаторе (60 с при температуре 85 °С). Тем не менее сусло из осадка взвесей зачастую сбраживают отдельно, а дрожжи повторно не используют.

2.7.6.6. Для отделения осадка взвесей сусла и сусла можно использовать *камерные или тарельчатые сепараторы*, причем последние зачастую являются саморазгружающимися (см. далее раздел 2.7.7.1).

Эксплуатация холодильной тарелки требует много места, энергии и трудозатрат; хотя тарелка и подвержена инфицированию, с технологической точки зрения у нее много преимуществ. Благодаря *испарению* 5–8 % исходного объема сусла наблюдается рост концентрации сусла, которая у 11–13 %-ного сусла повышается на 0,5–0,8 %; этот эффект частично компенсируется за счет разбавления водой. *Осадок взвесей горячего сусла* гарантированно оседает, если ускоренный слив сусла вследствие технологических ошибок не вызывает подъема мути. Содержание *осадка взвесей охлажденного сусла* при стекании сусла в диапазоне температур 65–45 °С снижается в среднем на 15–25 %, а перемешивание или более длительная выдержка позволяют увеличить этот показатель до 30–40%. При попадании сусла на холодильную тарелку происходит

его умеренная *аэрация при высоких температурах*, физическое связывание кислорода осуществимо лишь в сочетании с использованием оросительного холодильника (табл. 2.19).

При использовании пластинчатого холодильника необходимо позаботиться о дополнительной аэрации сусла. При подаче на холодильную тарелку сусло резко охлаждается до температуры 75–80 °С, окрашивание изменяется в узких пределах, однако дополнительная изомеризация горьких веществ хмеля осуществляется в меньшей степени.

2.7.7. Закрытые системы охлаждения сусла

Их можно подразделить на оборудованные для охлаждения сусла (см. предыдущий раздел), устройства для отделения осадка взвесей горячего сусла, системы полного или частичного удаления осадка взвесей охлажденного сусла, а также на аппараты для аэрации сусла.

2.7.7.1. *Отделение осадка взвесей горячего сусла* может осуществляться в отстойных чанах, суловарочных котлах, вирпулах или путем сепарирования горячего сусла, а также путем фильтрования через кизельгур или хмелевую дробину. Для осаждения взвесей может быть использован *суловарочный котел* (см. раздел 2.5.8). Чистое сусло отводится сверху при помощи поплавкового декантатора,

Таблица 2.19. Содержание кислорода в сусле

	Холодильная тарелка с оросительным холодильником		Холодильная тарелка с пластинчатым холодильником
Температура слива, °С	50	70	70
Перед охладителем, мг O ₂ /л	1,5	0,7	0,8
После охладителя, мг O ₂ /л	6,4	5,7	3,5

а около 3 % осадка, состоящего из твердых частиц мелкоизмельченного хмеля, добавляют в последующие варки.

Отстойные чаны изначально разрабатывались для замены холодильной тарелки и копировали принцип ее действия. В чане, оборудованном кожухом и вытяжным устройством, высота слоя сусла составляет 1-1,5 м. Сусло в целях его аэрации подается через распределитель. Взвеси горячего сусла осаждаются в течение 40-60 мин после окончания перекачивания сусла, и прозрачное сусло можно стягивать сверху с помощью поплавкового декантатора, а отстой проходит дальнейшую обработку аналогично холодильной тарелке. Для уменьшения нагрузки на подключенный затем холодильник в чане нередко устанавливают охлаждающие трубы. Достигаемое в этом случае охлаждение затрудняет осаждение взвесей сусла и мойку оборудования, так как образующуюся при этом теплую воду в большинстве случаев эффективно использовать уже невозможно.

Современные отстойные чаны имеют цилиндрикоконическую форму (высота слоя сусла составляет 2,5-4 м). Осветленное сусло отводится через поплавковый декантатор, а осадок взвесей из конусной части аппарата направляют на центрифугу или подают без осветления для фильтрации следующей варки.

Вирпул из нержавеющей стали представляет собой круглую изолированную емкость с плоским дном (отношение высоты к диаметру составляет в классическом варианте 1 : 1,3, в последнее время — 1 : 2-3,5), в которую тангенциально на уровне 1/3 высоты емкости подается сусло. С учётом времени перекачивания сусла (12-15 мин) сопло на впускном отверстии рассчитывают так, чтобы скорость

поступления жидкости составляла 3-3,5 м/с. Отношение объемного расхода V в вирпуле к объему горячего охмеленного сусла V_B в зависимости от отношения высоты к диаметру, приведено в табл. 2.20.

Таблица 2.20. Параметры вирпула

Отношение высоты к диаметру	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$v/V_B, 1/4$	7,7	6,7	5,8	5,4	5,0	4,9

Благодаря тангенциальной подаче содержимое вирпула получает вращательное движение (первичный поток). По окончании процесса подачи сусла и после затухания всех связанных с ним возмущений вращательное течение стабилизируется, под действием центробежных сил давление жидкости увеличивается изнутри наружу, и градиент давления формирует донный слой. Благодаря этому возникает сильное движение потока по спирали к центру непосредственно над дном емкости. Большая площадь поперечного сечения обуславливает невысокую скорость подъема сусла. Все частички взвесей горячего сусла, скорость оседания которых больше скорости подъема сусла, остаются в донном слое, перемещаются к центру емкости и скапливаются в форме конуса отстоя. На поверхности жидкости происходит радиальное движение потока наружу, а у цилиндрических стенок — поток направляется вниз. Таким путем частички взвесей горячего сусла перемещаются к стенкам емкости, затем вниз и попадают в донный слой. Под действием трения у стенки цилиндра и дна происходит торможение вращающегося потока, в результате чего уменьшается градиент давления и снижается интенсивность течения к центру

емкости, благодаря чему оседают все более мелкие частицы. Описанные процессы седиментации нарушаются завихрениями и вихревыми торообразными потоками.

В течение 30-минутной паузы после окончания перекачивания сусла (иногда дольше, и крайне редко раньше) сусло осветляется до такой степени, что можно приступить к его спуску. За ходом этой операции можно наблюдать через смотровое окно, расположенное на стенке вирпула. Целесообразно начинать спуск сусла на высоте около 1 м, затем переключиться на другое сливное отверстие, расположенное на высоте примерно 10 см, а в конце спуска — на отверстие в периферийной части днища вирпула. Последнее может быть плоским, иметь уклон 1-2 %, слегка коническую (с углом наклона стенок около 25°) или радиально-симметричную форму. Последний вариант выполняется с уклоном 2 % и заканчивается желобом, который в самой низкой точке выполняет функцию сливного отверстия в днище. Так называемые «отстойные чашки» себя не оправдали; при условии хорошей седиментации осадок взвесей сусла собирается в центре днища в форме конуса на расстоянии 20-40 см от края емкости. Чтобы не нарушить структуру конуса взвесей сусла, высоту слива сусла уменьшают, как описано выше, начиная с верхнего слоя и последовательно переключая слив сусла с бокового отверстия на отверстие в днище, изменяя по мере снижения уровня сусла частоту вращения насоса. Скорость спуска сусла должна соответствовать скорости фильтрования через фильтровальную лепешку во избежание отрыва осадка взвесей и попадания его в сусло. Даже в «сухом» осадке взвесей сусла содержится еще 0,3 % сусла.

Упомянутые выше вихревые торообразные потоки затрудняют или замедляют седиментацию осадка взвесей сусла, что вызывает необходимость увеличения продолжительности паузы до 30 мин и более. Благодаря установке «решеток Денка» вихревые торообразные потоки дефируются. Такие решетки монтируют (с возможностью регулировки) на высоте 350-600 мм от днища вирпула в виде колец размером в половину или две трети диаметра днища. Так как расстояние между этими кольцами составляет 100 мм, можно выполнить расчет их количества для различных диаметров днищ. Эффект колец выражается в существенном ускорении осаждения, что позволяет начинать охлаждение уже через 8-10 мин после окончания перекачивания сусла. Применение колец особенно эффективно в относительно узких вирпулах.

Тем не менее работа вирпула зависит от многих факторов: состав сусла должен быть оптимальным относительно вязкости и расщепления белка, осадок взвесей сусла должен состоять из крупных хлопьев (безупречное кипячение, осветление до прозрачности), сусло не должно подвергаться напряжениям сдвига (например, при неоптимальной конструкции варочного котла, неправильной прокладке трубопровода для перекачивания сусла или очень высокой скорости подачи сусла в вирпул). Удары воды или пара при опорожнении и промывке трубопроводов затрудняют уже начавшийся процесс седиментации и вызывают образование завихрений. Подсасывание воздуха (в частности, через хмелеотделитель) нарушает процесс осаждения взвесей сусла. Пригодность сусла к обработке в вирпуле можно проверить с помощью воронки Имхофа, настроенной на температуру 90 °С. Даже упомянутые кольца

при прочих неблагоприятных условиях не в состоянии существенно улучшить устойчивость конуса осажденных взвесей.

Вирпулы являются удачным решением особенно в случае использования внешних кипятильников, хотя и внутренние кипятильники не нарушают эффект вирпула, если под ними остается достаточно пространства для формирования конуса взвесей. По окончании процесса кипячения сусло перекачивается по тангенциально направленному трубопроводу, который иногда оканчивается соплом и циркулирует с заданной скоростью в течение 8 мин, пока не установится вращение без завихрений. После этого выдерживают обычную паузу. Преимущество вирпула состоит также в том, что сусло не аэрируется или, что еще важнее, не содержит газов, благодаря чему процесс седиментации может протекать быстрее.

Седиментация взвесей сусла улучшается при использовании хмелевого порошка, причем его количество не должно превышать 1,5-2 кг на 1 м² площади днища, что при отношении высоты вирпула к его диаметру 1 : 2 составит примерно 100 г/гл. По этой причине предпринимаются попытки дифференцировать отдельные сорта пива за счет сочетания экстракта смол, хмеля-концентрата и обычного хмелевого порошка. При дозировании хмелевых порошков возрастают потери вследствие впитывания сусла осадком, составляющие при дозировке 65 г/гл около 1,2 %, а при 130 г/гл - около 2 %. Для конического или выпуклого днища эти значения выше, так как конусы взвесей сусла у отдельных сортов пива за счет внесения дрожжей характеризуются разным объемом и тем самым соответствующим уровнем отстойного сусла. Именно поэтому в месте соединения к контуру спуска сусла осадок взвесей сусла соби-

рают в отдельной емкости для осадка взвесей и снова добавляют при фильтровании следующей варки, что при производстве разных сортов и типов пива (светлого, темного, пльзеньского, пшеничного) весьма проблематично.

Наилучшим решением представляется очень медленный (например, в течение 30 мин) спуск осадка взвесей сусла в фазе седиментации с помощью регулируемого насоса в оборудованный мешалкой танк для мутного сусла. Это мутное сусло, состоящее из осадка взвесей и сусла (по объему 7-8 % исходного сусла), осветляется в саморазгружающемся сепараторе соответствующей производительности и добавляется к основному потоку сусла перед пластинчатым холодильником. Через некоторое время (15 и 35 мин) остается только еще раз перекачать небольшое количество отстоявшихся за это время взвесей сусла (в течение 2 мин). Для осветления мутного сусла можно также использовать центрифугу (как в начале, так в конце контура подачи сусла).

Ход этого важного технологического этапа по отделению взвесей контролируют с помощью автоматического нефелометра с самописцем, выдающего команды, например, на прекращение охлаждения сусла и переключение на танк для взвесей.

Затраты времени на перекачивание, седиментацию и охлаждение сусла в целом не должны превышать 110 мин, так как в противном случае неизбежно заметное усиление цветности сусла (1-3 ед. ЕВС). Действие этой «горячей выдержки» при температуре около 95 °С сказывается также на содержании горьких веществах хмеля, дополнительная изомеризация которых возрастает на 10-25 %.

Для удаления затвердевшего конуса осадка взвесей предназначены распылительные форсунки, установленные сверху или в периферийной части днища вращающегося. Для решения этой задачи предназначено также устройство *Hydrojet*, располагаемое в центре.

Сепараторы для отделения осадка взвесей горячего сула целесообразно использовать в сочетании с емкостью для готового сула, так как перекачивание может происходить быстрее, чем сепарирование осадка взвесей. В качестве такой емкости применяют обычный *танк*, установленный горизонтально или вертикально. Так как нет необходимости ждать, пока окончится образование осадка взвесей горячего сула, то уже во время перекачивания можно подавать суло в сепаратор, что позволяет экономить время. При использовании *отстойного чана* поступают аналогично или ждут окончания осаждения взвесей горячего сула. В этом случае после паузы примерно две трети прозрачного сула отводят без сепарации, а остальную треть пропускают через сепаратор. Сепаратор может быть также подключен после холодильной тарелки.

Принцип действия *сепаратора* заключается в замене естественного ускорения свободного падения значительно большим центробежным ускорением, благодаря чему удается за короткое время отделить осадок и выделить частицы совершенно определенного размера. Таким образом, при пониженных температурах можно удалить не только осадок взвесей горячего сула, но и захватить часть осадка взвесей холодного сула, но при более низких температурах повышается вязкость сула, что затрудняет отделение и, таким образом, снижается КПД установки и производительность сепаратора.

С помощью современного сепаратора можно осветлить 150-350 гл осадка взвесей горячего сула (с температурой 90° С) за 1 ч, но всего 30-80 гл начального сула (с температурой 5-6 °С). Для отстойного сула (температурой около 40 °С) производительность вследствие высокого содержания шлама также ограничена 40-60 гл/ч. Существуют следующие конструкции сепараторов.

Камерно-барабанные сепараторы (скорость вращения барабана — около 4000 об/мин). В них под действием центробежной силы суло отделяется от осадка взвесей в камере диаметром 200-400 мм. Мощность сепаратора определяется пространством для шлама. Наиболее крупные аппараты вмещают 65 л (70 кг) шлама влажностью около 70 %, что соответствует засыпи примерно 5000 кг. Для улучшения эффекта осветления, особенно сула со средней температурой, устанавливают несколько камер (многокамерный сепаратор).

Тарельчато-барабанные сепараторы (скорость вращения барабана — около 6000 об/мин). У таких сепараторов в середине вращающегося корпуса сепаратора на расстоянии менее 1 см размещено определенное число конических тарелок. Благодаря этому путь, который должны пройти частички осадка взвесей, существенно короче по сравнению с камерно-барабанным сепаратором, а осветление, особенно для тонких взвесей, улучшается. Частицы взвесей соскальзывают с тарелки и сразу попадают на край вращающегося ротора сепаратора, в так называемое шламное пространство. И камерно-, и тарельчато-барабанные сепараторы после каждой загрузки должны открываться и опорожняться.

Саморазгружающиеся сепараторы действуют по принципу тарельчато-бара-

банного сепаратора. Осадок взвесей, отведенный от тарелок, скапливается в широком воронкообразном пространстве, образованном двумя конусными частями барабана. Нижняя подвижная часть барабана прижимается к верхней гидравлическим давлением буферной жидкости (воды). Как только шламовое пространство заполняется, за счет сброса давления открывается отверстие камеры, и осадок взвесей удаляется за нескольких секунд. Удаление осадка взвесей может осуществляться также автоматически. В ходе охлаждения сусла производится лишь частичное удаление шлама, а в конце варки происходит его полное удаление в ходе промывания водой. Такие аппараты подходят для любого количества осадка взвесей горячего сусла. Процесс выгрузки шлама может осуществляться при помощи таймера, нефелометра на выпускном отверстии сепаратора или по степени заполнения шламового пространства, причем продолжительность выгрузки шлама можно регулировать.

Во всех конструкциях сепараторов сусло вращается, и поэтому его можно транспортировать с помощью грейфера, крыльчатки насоса с жесткими и прочными лопастями, однако достигаемого при этом давления недостаточно для пластинчатого холодильника с большой поверхностью теплообмена, в связи с чем в большинстве случаев необходим дополнительный насос. Такой грейфер при соответствующем режиме давлений пригоден для продувки воздуха, который в данном случае очень интенсивно перемешивается с суслом, благодаря чему можно обеспечить насыщение сусла воздухом, необходимым не только для брожения, но и для удаления взвесей холодного сусла путем флотации (см. раздел 2.7.7.2).

При осветлении горячего сусла с помощью сепараторов используют два различных метода. При поступлении в сепаратор однородной суспензии взвесей горячего сусла их содержание может снизиться до 10 г/г, и лишь непосредственно перед выгрузкой шлама происходит небольшое увеличение содержания взвесей (до 12-13 г/г). Эти взвеси так тонко диспергированы, что их можно отделить при последующем удалении взвесей охлажденного сусла способом флотации. Производительность сепаратора составляет 70 % от максимальной.

Если отстойный резервуар не оборудован месильным органом, то можно выделить три фазы сепарирования. При перекачивании сусла смесь из сусла и взвесей однородна. Центрифугирование осуществляется в течение 20 мин с 70 %-ной производительностью. Затем следует фаза, характеризующаяся сильной концентрацией взвесей горячего сусла. Даже если производительность сепаратора уменьшить на 25 %, возможен «проскок» осадка взвесей горячего сусла до 17-18 г/г (продолжительность этой стадии составляет 40 мин). Затем в сепаратор поступает все более осветленное сусло, и в оставшиеся 40 мин можно работать с полной производительностью, причем в последние 2-5 мин сепаратор можно даже отключить.

Таким образом, производительность сепаратора должна учитывать содержание взвесей сусла, в связи с чем содержание хмелевого порошка не должно превышать 50-80 г/г. Осветление однородного сусла по первому из описанных методов несколько эффективнее, хотя среднее содержание взвесей сусла в обоих методах является примерно одинаковым. При очень резком центрифугировании при известных условиях под действием

сдвиговых усилий, возникающих при ускорении суслу на участке от ламинарного потока при поступлении до вращающегося слоя жидкости, может иметь место изменение белковых молекул вследствие разрыва дисульфидных связей. Под действием протекающего при брожении окисления в пиве впоследствии может возникать серно-дрожжевой, луковый запах. Этот эффект может возникать также в случае неправильного подбора перекачивающих насосов. Путем соответствующего изменения условий течения жидкости в этой части сепаратора можно добиться существенного уменьшения усилий сдвига, так что в современных сепараторах подобные негативные воздействия уже не возникают.

Естественно, режим центрифугирования требует определенного расхода электроэнергии (около 15 кВт/100 гл); при производительности 200-300 гл/ч необходимо иметь один аппарат и соответствующий резерв.

При работе в режиме центрифугирования вследствие того что охлаждение суслу начинается почти сразу же в ходе его перекачивания, требуется небольшой холодильник с циклом охлаждения 90 мин на варку. Тем не менее термическая нагрузка несколько меньше. Потемнение суслу чаще всего составляет лишь 1 ед. ЕВС. При производительности 200-220 гл/ч соответственно необходим один сепаратор. В том случае, если танк для готового суслу временно (без сепаратора) может быть использован для седиментации взвесей суслу, дополнительный агрегат не требуется.

При выполнении указанных выше условий степень осветления является удовлетворительной. Благодаря раннему началу охлаждения термическая нагрузка

составляет менее 100 мин и тем самым снижается потемнение суслу.

Фильтрация горячего суслу через кизельгуровый фильтр является самым надежным способом удаления осадка взвесей горячего суслу. Производительность обычных кизельгуровых фильтров составляет при этом 12 гл/м² в час, расход грубого кизельгура или перлита — 150 г/гл без хмелевого порошка и 120 г/гл с хмелевой дробинкой. Потерь суслу при промывании водой практически не возникает. Фильтрация можно начинать одновременно с перекачиванием суслу из компенсирующей емкости; кратковременная фаза охлаждения и разделения продолжительностью 80-100 мин ограничивает потемнение суслу. Единственным недостатком является стоимость кизельгура и его утилизации. Указанный выше расход кизельгура можно сократить, если фильтровать подряд две варки без удаления шлама.

Для извлечения отстойного суслу также применяется декантер (см. раздел 2.4.10.3) или барабанный вакуум-фильтр (см. раздел 2.4.10.1). Загрузка осуществляется через сборник отстойного/мутного суслу. Извлеченное отстойное сусло поступает на следующую варку. Правда, степень осветления позволяла бы дозировку в основной поток суслу указанной варки.

Сусло после отделения отстоя охлаждается в пластинчатом теплообменнике с температуры 90-95 °С до температуры внесения дрожжей, причем необходима дополнительная аэрация суслу, так как при однократной подаче суслу в заторный чан поглощается лишь около 1,5 мг кислорода/л. Осадок взвесей охлажденного суслу выпадает в виде крупных хлопьев, что обусловлено быстрым и глубоким охлаждением. Эту фракцию необ-

ходимо удалить с использованием специальных мероприятий.

2.7.7.2. *Отделение осадка взвесей охлажденного сусла* обычно осуществляется с помощью чана предварительного брожения, способов холодной седиментации, центрифугирования, фильтрации и флотации.

Чан предварительного брожения используют для отделения части осадка взвесей охлажденного сусла путем седиментации. Поскольку в этом случае, как следует из названия аппарата, дрожжи уже введены, то еще до завершения седиментации осадка взвесей охлажденного сусла (12-16 ч) начинается брожение, так что полного осаждения, как, например, при холодной седиментации, не происходит. Напротив, часть хлопьев взвесей охлажденного сусла увлекает дрожжи вниз, тогда как другая их часть остается во взвешенном состоянии и препятствует процессу удаления смолистых веществ. Степень отделения осадка взвесей охлажденного сусла после 12-часовой «паузы» составляет около 30 %. По истечении этого времени емкость целесообразно заменить, предотвращая тем самым повторный подъем уже отложившихся частичек осадка взвесей.

Холодная седиментация. Сусло охлаждают до температуры внесения дрожжей и оставляют без аэрирования до внесения дрожжей на 12-16 ч в чане для седиментации осадка взвесей охлажденного сусла, в котором для ускорения осаждения частиц взвесей высота слоя сусла составляет 1-1,2 м. Способ холодной седиментации позволяет отделить около 50 % первоначального количества осадка взвесей охлажденного сусла.

При добавлении кизельгура можно не только ускорить процесс осаждения

в глубоких чанах, но и добиться усиления эффекта седиментации (при введении 10 г кизельгура/гл осаждается около 60 %, а при добавлении 20 г/гл — около 70 % осадка взвесей). Данный способ несложен и совершенно не восприимчив к неудовлетворительному первоначальному отделению горячей мути. Различный уровень содержания в сусле осадка взвесей охлажденного сусла можно нивелировать путем внесения кизельгура. При «закрытом» охлаждении сусла и использовании правильной с микробиологической точки зрения технологии риск инфицирования сусла отсутствует. При перекачивании сусла необходимо проводить интенсивную аэрацию. Для сокращения ручного труда при мойке открытых чанов их оборудуют системой автоматической мойки и очистки.

Холодное сепарирование. Для отделения осадка взвесей охлажденного сусла могут быть использованы описанные ранее сепараторы, однако из-за повышенной вязкости при температуре внесения дрожжей (5 °C) — например, 1,80 мПа · с по сравнению с 1,40 мПа · с при 90 °C — и меньшей удельной массы частиц осадка взвесей охлажденного сусла (в среднем 1,10 по сравнению с 1,22 осадка взвесей горячего сусла) производительность сепаратора существенно снижается и составляет около 25 % производительности сепаратора для горячего сусла. Более высокую производительность (до 120 гл/ч) обеспечивает сепаратор тарельчатого типа с системой самоочистки, в который целесообразно загружать сусло с уже удаленным осадком взвесей горячего сусла. Охлажденное сусло с удаленным осадком взвесей горячего сусла для промежуточного хранения необходимо поместить в отдельный танк — только так можно

компенсировать разницу в производительности при отделении осадка взвесей горячего суслу и охлаждением с одной стороны и производительностью сепаратора охлажденного суслу. Последний аппарат потребляет немного меньше электроэнергии (15 кВт/100 гл), но с учетом необходимости мойки после каждой варки расходуется больше щелочи (отложения осадка взвесей холодного суслу в сепараторе следует растворять 2-3 %-ным раствором горячей щелочи).

Эффективность разделения осадка взвесей охлажденного суслу при холодном сепарировании составляет около 50 %, причем необходима последующая аэрация суслу. Напорный диск сепаратора в этих целях использовать нельзя из-за невозможности стерилизации подаваемого воздуха и риска его инфицирования. Преимуществом холодного сепарирования является исключение повторного перекачивания.

Фильтрация холодного суслу может проводиться с использованием тех же типов фильтров, что и фильтрация пива (см. раздел 4.2.2.2), причем производительность для суслу на 50-80 % выше, чем для пива. Таким образом, производительность кизельгуровых пластинчатых фильтров составляет 5-6 гл/м² площади фильтра, а кизельгуровых ситовых или щелевых фильтров — 7-10 гл/м². Применение кизельгура или перлита (WW320 или WDK100, см. раздел 4.2.2.1) при умеренном расходе позволяет получать прозрачное суслу (мутностью 2-3 ед. ЕВС). Расход кизельгура в зависимости от степени загрузки установки, включая предварительный намыв фильтра через каждые четыре варки, составляет 50-70 г/гл. Затраты на техническое обслуживание и очистку кизельгуровых пластинчатых фильтров, которые редко используют

для фильтрации суслу, являются довольно высокими. Снизить затраты труда позволяют горизонтальные фильтры. Перекачивание суслу в отдельный чаш для предварительного брожения можно исключить, но предварительное удаление осадка взвесей горячего суслу в сепараторе или вихре с учетом производительности фильтра обязательно.

Эффективность разделения при фильтрации с помощью кизельгуровых фильтров составляет 75-85 %, то есть при первоначальном содержании взвесей охлажденного суслу 200 мг/л они еще остаются в количестве 30-50 мг/л. Благодаря более глубокому охлаждению суслу перед фильтрацией (например, до 0 °С) можно добиться удаления 90-95 % общего количества осадка взвесей охлажденного суслу. Затем суслу в противотоке вновь нагревают до температуры внесения дрожжей.

Как можно более полное удаление осадка взвесей охлажденного суслу представляется желательным при незначительной продолжительности брожения и дображивания, так как в этом случае ускоряется созревание пива. При традиционной технологии пиву, полученному из отфильтрованного через кизельгур суслу, недостает необходимой полноты вкуса и в нем нередко проявляется резкое и неустойчивое послевкусие. Компенсировать эти дефекты может перемешивание фильтрованного и нефильтрованного суслу. При использовании вихря целесообразно фильтровать первые 25-35 % и последние 15-25 % суслу, но в этом случае сокращается срок службы фильтра. Для фильтрованного суслу большое значение придается его интенсивной аэрации.

Метод флотации основан на том принципе, что частицы осадка взвесей

охлажденного сусла собираются на поверхности пузырьков воздуха, которые поднимаются в течение 2-3 ч на поверхность сусла и образуют высокую компактную шапку пены, приобретающую через несколько часов коричневатый цвет. Эффект отделения взвесей охлажденного сусла составляет от 50 до 65 % в зависимости от количества воздуха, размера пузырьков и скорости их перемещения к поверхности сусла. После подъема пузырьков сусло становится почти прозрачным или слегка опалесцирующим, а при использовании аэрации со стороны подачи горячего сусла (например, через напорный диск сепаратора) — даже совершенно прозрачным.

Флотация может осуществляться в присутствии дрожжей и без них, так как они не мешают ее ходу. При правильной технологии потери дрожжей в деке незначительны. Чтобы избежать неравномерности дозирования (особенно в горизонтальных флотационных танках), дрожжи должны вноситься в подаваемое сусло — они интенсивно размножаются благодаря избытку воздуха. Данный способ может быть реализован в любом чане предварительного брожения или бродительном чане (при этом в емкости требуется дополнительное свободное пространство — 30-50 % от ее объема). Аналогичным образом можно использовать горизонтальные или вертикальные не используемые танки. Для исключения чрезмерного вспенивания сусла в танке можно создавать небольшое избыточное давление порядка 0,5 бар.

При перекачивании сусла шапка пены оседает на дне емкости или остается на ее стенках. Высота слоя сусла в вертикальном танке может достигать до 4 м; если предусмотрена вторая варка в смену, то высота сусла может достигать до 6-7 м.

Продолжительность флотации составляет в зависимости от высоты слоя сусла 2-4 ч, и по истечении этого времени сусло можно перекачивать. Лучше всего если выдержка составит 6-8 ч, но ее можно и увеличить до тех пор, пока шапка пены не опадет или не начнется слишком сильное брожение. Определенные колебания длительности флотации необходимы для подбора наиболее оптимального технологического цикла. Кроме того, эффект флотации можно улучшить путем использования нескольких варок. У открытых чанов при определенных условиях можно снимать шапку пены, содержащую частицы взвесей, но лучше применять перекачивание при повторной аэрации. В закрытых чанах или танках возможно проведение автоматической мойки.

Для флотации не требуется большого количества оборудования — достаточно вихрула, пластинчатого холодильника и системы интенсивной аэрации, но для обеспечения надлежащего эффекта необходимо обеспечить хорошее отделение осадка взвесей горячего сусла.

При отделении осадка взвесей охлажденного сусла на 60 % происходит удаление 12 мг азота и 30 мг высокомолекулярных углеводов/л. Потери азота составляют 20-25 % от общих потерь при кипячении сусла. Следствием удаления углеводов является улучшение фильтруемости пива. При интенсивной повторной аэрации не выявлено отсутствия липидов и ростовых веществ. Потери горьких веществ при этом не выше, чем при других способах, так как в шапку пены уносятся лишь неизомеризованные α -кислоты. Согласно последним исследованиям флотация должна проводиться только с использованием дрожжей (для сохранения редуцирующих веществ).

Благодаря сильной первичной и повторной аэрации увеличивается интенсивность главного брожения и дображивания. Потери, возникающие при флотации, при правильном ведении процесса составляют 0,2-0,4 %.

2.7.7.3. Устройства для аэрации сусла.

Во всех закрытых системах охлаждения требуется специальная аэрация сусла.

При этом следует различать две задачи:

- 1) введение 7-8 мг O_2 /л (для размножения дрожжей);
- 2) интенсивная аэрация для удаления осадка взвесей охлажденного сусла (флотация).

Для достижения содержания кислорода в 7-8 мг/л необходим известный избыток воздуха. Расход воздуха составляет порядка 3-10 л/г сусла в зависимости от давления, распределения воздуха и размеров пузырьков. Оптимальным решением представляется поступление воздуха под давлением с последующим сбросом давления в трубопроводе определенной длины, а подача сусла в бродильный чан снизу предотвращает слишком быстрое выделение воздуха.

При использовании флотации для выполнения воздухом его «транспортной» функции требуется неодинаковое количество воздуха — в зависимости от тех или иных факторов его количество колеблется от 20 до 60 л/г сусла. Подача воздуха, которая должна контролироваться расходомером, может регулироваться *аэрационными свечами* из керамики или металлокерамики с размером пор 0,2 мкм, или *металлическими пластинками*, диспергирующими воздух при его прохождении между ними. Эти аэрационные устройства следует размещать у выхода пластинчатого холодильника так, чтобы сусло, поступающее в него

сверху, могло интенсивно перемешиваться с идущим снизу воздухом. Трубопровод следует располагать выше уровня аэрационного устройства во избежание выделения воздуха из сусла. Хорошо зарекомендовало себя на практике подключение смесительного насоса, диспергирующего воздух в сусле. *Напорный диск сепаратора горячего сусла* позволяет захватывать большое количество воздуха, необходимого для флотации, и интенсивно перемешивать его с сусликом. То, что в данном случае речь идет об аэрации горячего сусла, неважно, так как из-за подключенного пластинчатого охладителя воздух может воздействовать на горячее сусло всего 1-2 с. Снижение давления смеси воздуха и сусла в пластинчатом охладителе оказывает положительное воздействие, причем не происходит чрезмерного образования пены во флотационной емкости.

Так как аэрация при помощи напорного диска в случае неудачной конструкции сепаратора может привести к изменению вкуса пива, эффект аэрации напорного диска используется в *центробежном смесителе* для охлажденного сусла. Сусло разгоняется в небольшом вращающемся барабане и удаляется через неподвижный напорный диск (грейфер). При этом благодаря соответствующей системе регулировки давления подается строго определенное количество стерильного воздуха, расход которого составляет 25-35 л воздуха/г сусла.

Трубка Вентури или струйный смеситель имеет сужение суслопровода, в результате чего скорость подачи сусла возрастает, причем под действием разрежения в трубопровод всасывается воздух. Трубки Вентури в большинстве случаев требуют использования транспортирующего насоса. При правильной конструкции

сопла для обеспечения безупречного подмешивания воздуха к суслу достаточно 20-35 л воздуха/гл сусла. Размер пузырьков воздуха составляет 0,1-0,5 мкм, что несколько меньше, чем у керамических или металлокерамических свеч, где пузырьки имеют размер 0,1-5 мкм. Следует учитывать падение давления в системе трубопроводов после трубки Вентури, вследствие чего для компенсации разности давлений (при различной длине трубопроводов и т. д.) зачастую устанавливаются так называемые контактные отрезки.

Относительно новым аппаратом для аэрации сусла является статический смеситель, состоящий из нескольких смесительных элементов, которые обеспечивают перемешивание в горизонтальном и вертикальном направлениях, благодаря чему эффект перемешивания улучшается. В аэрированном таким образом сусле (скорость которого должна достигать 1,5 м/с) размер пузырьков составляет 0,1-0,5 мкм.

При *комбинированной горячей и холодной аэрации*, то есть перед охладителем и после него, рекомендуется применять их в отношении примерно 1 : 5, что позволяет объединить преимущества этих двух типов аэрации.

Повторная аэрация при перекачивании сусла из танка предварительного брожения или из флотационного танка используется для компенсации возможных потерь высокомолекулярных жирных кислот, особенно ненасыщенных. При этом происходит также дополнительное стимулирование размножения дрожжей. Лучше всего в этом случае на напорной стороне насоса использовать трубку Вентури. Необходимое при этом количество воздуха составляет 10-20 л/гл, и благодаря этому объему обеспечивается содержание 8-10 мг O_2 /л.

Значение холодной аэрации заключается в стерилизации воздуха при фильтровании. Несмотря на использование в данном случае большого количества воздуха, содержание кислорода не превышает 8-10 мг/л начального сусла, а содержание кислорода после подъема пузырьков воздуха устанавливается в зависимости от температуры сусла.

2.7.7.4. Применение *вакуумного охладителя* при перекачивании сусла, то есть между вирпулом и танком для горячего сусла позволяет добиться быстрого охлаждения сусла до температуры 70-75 °С, благодаря чему значительно снижается цветность сусла (см. раздел 2.7.4.1), но при этом ограничивается дополнительная изомеризация. Вакуумный охладитель позволяет также извлекать летучие составляющие сусла, что положительно влияет на качество пива. Потребление воды охладителем поддерживается на низком уровне благодаря использованию противоточной охладительной колонны. Основной недостаток этого способа состоит в потере энергии сусла (разность температур составляет около 20 °С), что, однако, компенсируется другими источниками вторичного тепла, например, испарительным конденсатором суслотарного котла. Изменяется также консистенция осадка взвесей горячего сусла, отделять который в вирпуле труднее, чем в сепараторе или в фильтре для сусла.

2.7.7.5. *Автоматизация процесса охлаждения сусла* подразумевает, прежде всего, регулирование температуры сусла с помощью охлаждающей воды. Управление центрифугой осуществляется фотоэлементом или путем зондирования шламового пространства. Не следует запускать

вирпул с помощью таймера, так как мутность сусла может меняться от варки к варке — наилучшим решением является визуальный контроль со стороны оператора. Этот процесс контролируется с помощью измерителя мутности, как и прерывание подачи сусла и переключение на сборник для мутного сусла. Работа фильтра для сусла автоматизируется довольно просто. Момент переключения с воды на сусло и наоборот определяется при помощи приборов для измерения электропроводности. Кроме того, имеется возможность выбора танка и емкости для дозирования дрожжей. Уровень автоматизации мойки (после каждой варки или комплексная мойка) определяется возможностями имеющихся средств автоматизации.

2.8. Выход холодного сусла

Как мы уже упоминали ранее, определить выход экстракта с горячим суслим всегда труднее, чем с холодным, так как отдельные показатели вызывают сомнения. Логичнее поэтому определять выход экстракта с холодным суслим.

2.8.1. Измеряемые показатели

Как и для оценки выхода экстракта в варочном цехе, используются следующие показатели: масса засыпи, количество получаемого сусла и содержание экстракта.

2.8.1.1. Количество холодного сусла легко определяется в тарированных чанах предварительного брожения, точнее, в чанах для холодной седиментации, при помощи

измерительной рейки. Если в чан предварительного брожения уже были добавлены дрожжи, то их количество следует вычестить из объема сусла. При использовании флотационного танка определить количество холодного сусла сложнее, чем при подаче в один большой танк различных варок при отсутствии промежуточной емкости.

На практике невозможно обойтись без надежного способа измерения количества холодного сусла в трубопроводе для сусла после пластинчатого охладителя. Так как водомер с овальным колесом и поршневой насос-дозатор не обеспечивают требуемой точности измерений, стали применяться магнитно-индукционные расходомеры с точностью измерений $\pm 3\%$ в диапазоне измерений 1:10, то есть гарантируется одинаковая точность измерений как при расходе 30 гл/ч, так и 300 гл/ч (перед таким расходомером необходимо установить отделитель воздуха). Количество определяемого при этом сусла меньше, чем количество горячего охмеленного сусла в сусловарочном котле. Разница обуславливается температурным сжатием сусла при охлаждении с 98 °С до температуры измерения, а также потерями в хмелеотделителе или вирпуле.

2.8.1.2. Содержание экстракта в сусле в ходе обработки холодного сусла не всегда одинаково. В начале из-за наличия в трубопроводах воды оно меньше среднего значения; оно может уменьшиться и в конце из-за попадания в сборник для горячего сусла конденсационной влаги или поступления воды, используемой для вытеснения сусла. Для регистрации возможных отклонений необходимы пробоотборники, с помощью которых отбирают пробы сусла через короткие интервалы

времени и направляют их в специальный сборник. Там сусло тщательно перемешивают, определяют содержание экстракта сахарометром в масс-объемных процентах (г экстракта/100 мл).

2.8.2. Расчет выхода экстракта с холодным суслом

Расчет выхода экстракта с холодным суслом проще, чем расчет выхода экстракта в варочном цехе, так как в здесь отсутствует неопределяемый коэффициент 0,96.

$$\text{Выход экстракта} = \frac{\text{Количество сусла, л} \times \text{Показание сахарометра}}{\text{Масса засыпи, кг} \times \text{Плотность}}.$$

Этот выход на 1-2,5 % меньше выхода экстракта в варочном цехе.

Различия в выходе экстракта обусловлены уже упоминавшимися изменениями объема сусла на участке от варочного цеха до выхода из пластинчатого охладителя, причем температурное сжатие и возможное испарение не оказывают влияния на потерю экстракта.

2.8.2.1. Уменьшение объема вследствие температурного сжатия до температуры внесения дрожжей, равной, например, 5 °С, составляет 4,2 %. При поступлении охмеленного сусла в вирпул, особенно при тангенциальном вводе сусла, оно распределяется по большой поверхности, и происходит испарение, которое практически компенсируется при ополаскивании котла, так что уменьшение содержания экстракта составляет около 0,1 %. Объем сусла, который был определен при температуре внесения дрожжей, необходимо пересчитать на температуру 20 °С. Объем, вытесненный хмелем, для шишкового хмеля составляет 0,8 л/кг хмеля,

для порошкового хмеля — 0,3-0,4 л/кг, а для хмелевого экстракта — 0.

2.8.2.2. Потери экстракта при использовании шишкового хмеля составляют 5 л/кг хмеля, то есть при внесении хмеля из расчета 150 г/г — 0,73 %. При использовании современных хмелеотделителей, где хмель промывается водой в противотоке и дополнительно отпрессовывается, потери сокращаются до 0,2-0,3 %.

Потери с осадком взвесей горячего сусла при использовании пресса для извлечения сусла из осадка взвесей составляют 0,3-0,6 %, при отпрессовывании и вымывании — 0,1-0,15 %, а в саморазгружающихся сепараторах — 0,3-0,4 %. Потери экстракта в вирпуле при его оптимальном функционировании составляют 0,25-0,6 %, а при преждевременном сливе сусла они могут возрасти до 1-1,5 %.

При образовании осадка из дробины хмелевого порошка и взвесей горячего сусла в зависимости от дозирования порошка потери экстракта составляют 1-2 %, а в случае плохого отделения в вирпуле — намного больше. Саморазгружающиеся сепараторы горячего сусла при подаче однородной смеси с зондированием шламового пространства и количестве хмелевой дробины около 80 г/г характеризуются потерями 0,9-1,0 %, а сепараторы отстойного сусла (см. раздел 6.1.1.4) — около 0,6%. Как мы уже упоминали выше, смесь из хмелевой дробины и взвесей горячего сусла иногда вновь добавляют в следующую варку на той или иной стадии (затираания, перекачивания затора, фильтрования долива). В целях правильного учета выхода холодного сусла в варке, например, при снижении выхода варочного цеха, этот остаток необходимо определить. Смесь из хмелевой дробины и взвесей

горячего сусла собирают в соответствующий тарированный танк, фиксируют ее количество и температуру, после чего смесь гомогенизируют месильным органом или продувкой CO_2 . Содержание экстракта определяют ареометром. Кроме того, целесообразно определить содержание сухих веществ в смеси хмелевой дробины и взвесей горячего сусла, причем это определение можно проводить периодически при условии, что количество хмеля (хмелевого порошка) остается постоянным.

Сравнение данных выхода горячего и холодного сусла представлено в приведенной ниже таблице.

Таблица 2.21. Сравнение выхода холодного и горячего сусла (засыпь 5000 кг)

Выход горячего сусла	Варочный цех		Выход холодного сусла
Горячее охмеленное сусло, гл	315	Холодное сусло при 5 °С, гл	298,3
Экстракт, % масс.	12,0	В пересчете на 20 °С, гл	298,89
Коэффициент выхода	12,08	Экстракт, % масс.	11,92
		Экстракт, % масс/об.	12,49
Количество экстракта, кг	3805,2	Количество экстракта, кг	3733,14
		В сборнике для осадка при 75 °С, гл	8,5
		В пересчете на 20 °С, гл	8,30
		Общий объем сухих веществ при содержании осадка взвесей горячего сусла 60 г/гл и хмелевой дробины 50 г/гл	0,43
		Количество в сборнике для осадка взвесей горячего сусла нетто, гл	7,87
		Экстракт, % масс.	9,2
		Экстракт, % масс./об.	9,54
		Количество экстракта, кг	75,0
		Всего	3808,1
Выход экстракта с горячим суслом, %	= 76,10	Выход экстракта с холодным суслом, %	= 76,16

Для обычных производственных условий достаточно определить количество холодного сусла, экстракт холодного сусла, количество мутного сусла плюс экстракт отстойного сусла. Если взвеси хмеля возвращают, например, к первому доливу, то при определении можно пренебречь количеством взвесей и содержанием в них экстракта, так как эти взвеси переходят из варки в варку.

Такой контроль, включая понимание влияния отдельных факторов, важен для своевременного принятия мер в случае снижения выхода экстракта в варочном цехе.

3. Технология брожения

Под брожением в целом понимают такие процессы обмена веществ микроорганизмов, которые вызывают расщепление безазотистых органических веществ. При обычной температуре они протекают медленно и в большинстве случаев характеризуются выделением тепла и газообразованием.

Для обозначения различных способов брожения используют или основной продукт, получаемый в результате брожения, или бродильный субстрат, или возбудитель брожения. В пивоварении особое значение имеет *спиртовое брожение*, при котором сахара сбраживаются ферментами дрожжей до этилового спирта и углекислоты с выделением теплоты.

3.1. Пивные дрожжи

Дрожжи — это одноклеточные простейшие, обладающие рядом свойств клеток более высокоорганизованных организмов. Будучи эукариотами, они обладают настоящим клеточным ядром и цитоплазматическими органеллами, в частно-

сти митохондриями. Таксонометрически дрожжи относят к отделу грибов. По виду размножения дрожжи делятся на две большие группы в зависимости от возможности образования спор — спорообразующие и неспорообразующие. Пивные дрожжи относятся к спорообразующей группе дрожжей, в которой различают две большие подгруппы культурных пивоваренных дрожжей, принципиально отличающихся своим поведением: дрожжи верхового брожения (*Saccharomyces cerevisiae*) и дрожжи низового брожения (*Saccharomyces carlsbergensis*).

Дрожжи верхового брожения в зависимости от конкретного штамма сбраживаются при температуре 15-25 °С, образуя почечные сообщества; во время интенсивного брожения они поднимаются вверх, образуя шапку пены (деку) молодого пива. Они способны дополнительно образовывать споры и сбраживают трисахарид рафинозу лишь на одну треть.

У дрожжей низового брожения способность к образованию спор менее выражена, они не образуют почечных сообществ

и к концу брожения, протекающего при температуре 5-10 °С, оседают на дно.

В систематической классификации дрожжей рода сахаромицет, разработанной в 1970 г., *S. carlsbergensis* больше не считаются отдельным видом, а отнесены к *S. uvarum*, что, учитывая ряд факторов, в частности, образование ими отдельных ферментов, многими, в том числе и нами, представляется неоправданным.

Наряду с культурными пивоваренными дрожжами существуют многочисленные «дикие дрожжи», часть которых относится к виду *S. cerevisiae*. Они вызывают помутнение пива и изменение его вкуса. У пивных дрожжей низового брожения существует большое количество штаммов, характеризующихся различной способностью к сбраживанию и способных влиять на состав пива. Для культивирования дрожжей с соответствующими характеристиками требуемых продуктов брожения в чистом виде, то есть исключая другие (при известных условиях вредные) микроорганизмы, их выводят как чистые культуры по Хансену. При разведении чистой культуры дрожжей используют несколько отдельных дрожжевых клеток, которые размножаются изолированно в стерильных лабораторных условиях. Большое значение имеет способность дрожжей к хлопьеобразованию, обусловленная генетически и позволяющая провести разделение на хлопьевидные и пылевидные дрожжи. Хлопьевидные дрожжи перед окончанием брожения агломерируют и оседают быстро и плотно, тогда как пылевидные дрожжи долго остаются во взвешенном состоянии и быстрее сбраживают субстрат, чем хлопьевидные дрожжи. Границы между этими типами дрожжей довольно размыты — так, путем изменения бродильного субстрата можно

обусловить «запыление» хлопьевидных дрожжей (изменение пылевидных дрожжей в хлопьевидные наблюдается довольно редко).

3.1.1. Морфология дрожжей

3.1.1.1. Дрожжи представляют собой одноклеточные микроорганизмы округлой или овальной формы длиной 5-12 мкм и шириной 5-10 мкм. Площадь поверхности одной клетки составляет в среднем около 150 мкм². При обычном внесении дрожжей в количестве 0,5 л дрожжей/гл число клеток составляет 1,5 млрд, что соответствует площади 225 м², а в результате четырехкратного размножения активная поверхность клеток составляет 900 м²/гл.

3.1.1.2. Клеточная стенка у дрожжевой клетки составляет примерно около 20 % ее массы. Образована эта стенка несколькими слоями, состоящими главным образом из β-1,3-глюкана, β-1,6-глюкана, α-маннана (с α-1,6-связями, а также α-1,2- и α-1,3- боковыми ответвлениями), а также из липидов, белковых веществ, неорганических соединений (обычно фосфатов), а также гексозаминов. Соотношение β-глюканов к маннану варьирует в зависимости от штамма дрожжей и зависит от условий их размножения.

Поверхность клеточной мембраны покрыта слизистой оболочкой, которая преимущественно состоит из маннана. Состав клеточной мембраны в процессе брожения изменяется (у хлопьевидных дрожжей доля мембран выше, чем у пылевидных).

3.1.1.3. Протоплазма клетки состоит из ядра и собственно протоплазмы (цитоплазмы). Ядро составлено из базовой

плазмы и нескольких хромосом, содержащих гены (носители наследственных признаков). *Протоплазма клетки* также состоит из базовой плазмы, в которую «встроены» мембранная система эндоплазматической сети, а также такие структурные частицы, как, например, митохондрии, рибосомы и лизосомы. Митохондрии состоят из липопротеидов и содержат рибонуклеиновую кислоту (РНК) и большое количество витаминов. Они являются носителями ряда ферментов, необходимых для обмена веществ в процессе дыхания клетки. Лизосомы содержат ферменты, отвечающие за синтез протеинов, а рибосомы богаты РНК. Цитоплазма преимущественно содержит белковые вещества, изменяющееся количество резервного углевода (гликогена), а также жиры. В стареющих дрожжевых клетках изначально небольшие вакуоли (пространства, заполненные внутриклеточной жидкостью) увеличиваются в размере и постепенно вытесняют плазму.

3.1.2. Химический состав дрожжей

Прессованные дрожжи содержат 65-85 % воды, 60 % которой связано внутриклеточно, а 10-30 % — в виде гидратационной воды. В пересчете на сухое вещество получается следующий состав: азотсодержащие соединения — 38-60 %, углеводы - 15-37%, жиры - 2-12%, 6-12 % минеральных веществ, а также следы витаминов.

3.1.2.1. Азотсодержащие вещества примерно на 90 % состоят из белков, необходимых для построения новых клеток — альбумина, фосфоглобулина и нуклеопротеина. Остальные 10 % — это свободные

аминокислоты, нуклеиновые кислоты и их производные.

3.1.2.2. Углеводы присутствуют в мембране в виде глюканов (8 %) и маннана (2,5-10 % как гумми-вещества дрожжей), а также в плазме в форме гликогена. Последний используется главным образом как резервный углевод. Его содержание (3-15 %) растет при обильном поступлении питательных веществ, а при их дефиците он потребляется дрожжами. В небольшом количестве присутствует также трегалоза — дисахарид, состоящий из двух остатков глюкозы.

3.1.2.3. Содержание жиров в дрожжах зависит от возраста дрожжей и условий их размножения. В молодых клетках оно невелико и может повыситься в особых условиях разведения с 2-5 до 40 %. Липиды дрожжей содержат наряду со средне- и высокомолекулярными (насыщенными и ненасыщенными) жирными кислотами ацилглицериды, фосфолипиды, стеринны (эргостеринны) и т. п.

3.1.2.4. В пересчете на 100 г СВ содержание *минеральных веществ* составляет: 2000 мг фосфатов, 2400 мг калия, 20 мг кальция, 200 мг натрия, 2 мг магния, 7 мг цинка (минимальное количество — 3,5 мг) а также следов железа, марганца и меди.

3.1.2.5. Витамины встречаются в дрожжах в следующих количествах (на 100 г СВ): тиамин (В₁) — 6-20 мг, витамины В₂-комплекса — рибофлавин (2-8 мг), никотиновая кислота (30-100 мг), фолиевая кислота (2-10 мг), пантотеновая кислота (2-20 мг), а также пиридоксин (В₆) в количестве 3-10 мг, биотин (витамин Н) — 0,1-1 мг и витаминopodobные вещества — инозит и холин (200-500 мг).

3.1.3. Ферменты дрожжей

Дрожжи богаты ферментами, содержащимися в клеточных стенках, цитоплазме, вакуоле и ядре клетки. Они способствуют усвоению питательных веществ, их превращению и, соответственно, росту и размножению клеток. В дрожжах различают 6 групп ферментов — гидролазы, трансферазы, оксидоредуктазы, лиазы, изомеразы и лигазы, в частности синтетазы или синтазы.

В 1961 г. Международной комиссией были введены правила по номенклатуре и классификации ферментов. Так, например, в наименовании фермента сначала следует обозначение субстрата, затем молекулы-акцептора, а потом — типа реакции. Так как в этом случае наименования получаются очень длинными и неудобными, в рамках данной книги мы будем использовать тривиальные названия ферментов.

3.1.3.1. Гидролазы вызывают гидролитическое расщепление веществ, причем соединения гликозида, сложного эфира и пептида расщепляются в результате присоединения радикалов воды. Гидролазы состоят чаще всего из одного протеина, причем область реакции зависит от функциональных групп различных аминокислот (см. раздел 1.1.2.9). В клетке дрожжей представлены *карбогидразы* (например, мальтаза, сахараза, инвертаза и мелибиаза (*α*-галактозидаза)), а также *эстеразы*, включающие некоторое количество фосфатаз и небольшое число липаз. Содержание *пептидаз* в живой клетке очень незначительно — наряду с эндопептидазой присутствуют несколько экзопептидаз и амилаз.

Перечисленные ниже ферменты состоят из протеинов и так называемых простетических групп или коферментов.

3.1.3.2. Трансферазы переносят группы атомов (фосфорил-, amino-, гликозил- группы и т. д.) от одной молекулы (донора) к другой молекуле (акцептору). *Трансфосфорилазы* способствуют переносу остатков фосфата и осуществляют тем самым важную функцию в промежуточном обмене веществ. Кроме того, дрожжи содержат гексокиназу, фосфоглицерат- и пируваткиназу. Все эти ферменты участвуют в спиртовом брожении. Также присутствуют ферменты, катализирующие перенос остатков фосфата на рибозу, аденозан, холин и т. д. *Транс-гликозидазы* участвуют в синтезе гликогена, а *транс-аминазы* переносят аминокруппы.

3.1.3.3. Оксидоредуктазы переносят водород или электроны от одного субстрата к другому. Следует различать дегидрогеназы, которые могут действовать как аэробные (атом водорода, отщепленный от субстрата, переносится на кислород) или анаэробные ферменты (атом водорода переносится на другую молекулу, не на кислород). *Оксидазы* переносят атомы водорода на молекулярный кислород, а оксигеназы катализируют встраивание молекулы кислорода в субстрат. К первой группе относятся пероксидазы и каталазы.

3.1.3.4. Лиазы разрывают одну химическую связь (например, C-C-) без присоединения воды. Их подразделяют на декарбоксилазы (кетокислотные и аминокислотные декарбоксилазы) и дегидратазы (энолазу, фумаразу). К первой группе относится пируват-декарбоксилаза, обычно обозначаемая как «карбоксилаза». Она вызывает отщепление карбоксильной группы (декарбоксирование) пириновградной кислоты до ацетальдегида с образованием CO₂.

3.1.3.5. *Изомеразы* катализируют внутри-молекулярную перегруппировку атомов в молекуле с возможной внутримолекулярной окислительно-восстановительной реакцией (например, превращение глюкозы во фруктозу). В случае внутримолекулярной перегруппировки фосфорильная группа переносится с первого на шестой атом углерода молекулы глюкозы. Таким образом, следует различать *фосфогеоксоизомеразы* и *фосфомутазы*.

3.1.3.6. *Лигазы* (называемые также синтетазами и синтазами) позволяют осуществлять соединение двух молекул, причем для такого соединения необходима энергия. К ним относятся все ферменты, способные синтезировать связи C-N-, C-S-, C-O- и C-C-.

3.1.4. Размножение дрожжей

Обычно дрожжи размножаются почкованием, редко путем спорообразования. При почковании клетка образует на поверхности почку, которая на поздней стадии роста разделяется на материнскую и дочернюю клетки. После почкования каждый раз остается почечный рубец — его можно наблюдать под электронным микроскопом. По количеству рубцов можно сделать вывод о возрасте отдельной клетки, но не о возрасте популяции дрожжей — распределение по степени роста (50 % клеток без рубцов, 25 % — с одним рубцом, 12,5 % — с двумя, 6,25 % — с тремя рубцами и т. д.) всегда остается постоянным.

Размножение дрожжевой клетки предполагает наличие соответствующей питательной среды (состава суслу). При размножении дрожжей различают следующие стадии:

- латентная фаза, продолжающаяся несколько часов, в которой размножения

еще не происходит; этот период тем продолжительнее, чем более ослаблены дрожжи;

- *экспоненциальная (логарифмическая, лог-фаза)*, при которой происходит логарифмическое размножение дрожжей; брожение начинается;
- *фаза замедления размножения*, при которой под воздействием продуктов метаболизма размножение постепенно замедляется, но брожение еще продолжается.

Продолжительность генерации — это время, необходимое для удвоения числа клеток. В период интенсивного роста она составляет в зависимости от различных факторов 6-9 ч.

Оптимальный диапазон температур для размножения дрожжей находится в пределах 25-30 °С; при температурах выше 40 °С размножение прекращается, а жизнедеятельность дрожжей подавляется. Более низкие температуры замедляют их размножение, но не подавляют жизнедеятельность дрожжей.

В случае наличия H₂-акцепторов (например, ненасыщенных жирных кислот) наличие *кислорода* для размножения дрожжей не обязательно; в противном случае размножение постепенно прекращается при израсходовании запаса пуриновых и пиримидиновых оснований. Тем не менее кислород может ускорять размножение, а CO₂ оказывает тормозящее действие.

Содержание *спирта* в концентрации более 6 % оказывает на размножение дрожжей отрицательное действие, однако дрожжи способны адаптироваться к повышенной концентрации спирта. Кроме того, тормозят размножение дрожжей следующие факторы: наличие высших спиртов, нитриты как продукты восстановления нитратов (начиная с содержания

40 мг/л пивоваренной воды), а также большое количество тяжелых металлов. Подавлять жизнедеятельность дрожжей могут дезинфицирующие средства, хотя некоторые из них тормозят лишь размножение, но не собственно процесс брожения, причем к определенным дезинфицирующим средствам дрожжи способны адаптироваться.

3.1.5. Генетика дрожжей

Носителями наследственных факторов дрожжей являются хромосомы, находящиеся в ядре клетки. У пивоваренных дрожжей имеется обычно не менее пары хромосомных наборов по 2-4 хромосомы. Дрожжи бывают диплоидными или полипloidными. При вегетативном размножении хромосомный набор делится и вновь дополняется до двух ядер. Дочерняя клетка также является ди- или полипloidной и обладает наследственной предрасположенностью материнской клетки. В случае размножения дрожжей спорами происходит редукционное деление, и дрожжи становятся гаплоидными. Лишь когда споры путем попарной копуляции соединяются в зиготу с двойным набором хромосом, у клетки, размножающейся вегетативным путем, снова наступает диплоидная фаза. Споры, развивающиеся сами по себе, без образования зигот, образуют гаплоидные клетки. Путем скрещивания хромосом разных материнских клеток можно культивировать дрожжи с различной наследственной предрасположенностью.

3.1.6. Генетическая модификация дрожжей

Применение методов генной инженерии позволяет для оптимизации штаммов

дрожжей использовать наряду с селекцией и мутацией так называемое рекомбинирование. При мутации возможно изменение лишь отдельных генов, а при рекомбинировании удается соединить гены различных микроорганизмов. При этом образуются гибриды, у которых по сравнению с исходными штаммами наблюдается улучшение или дополнение некоторых свойств: усиление бродильных свойств, изменение хлопьеобразующих свойств, возможность сбраживания более широкого спектра сахаров (в частности декстринов), сбраживание редуцированных сахаров (например, для слабоалкогольного пива), снижение образования или ускоренное расщепление диацетила, устойчивость к токсинам дрожжей-киллеров. Кроме того, в дрожжи могут быть внедрены дополнительные активные ферменты (эндо- β -глюканаза, амилаза, амилоглюкозидаза и т. д.). Получение гибридов дрожжей может проходить через размножение (споры) или через неполовой цикл.

Скрещивание путем размножения возможно у дрожжей лишь относительно, так как с учетом их полипloidии (см. выше) и связанной с этим пониженной склонности к образованию аскоспор они практически не формируют клеток с выраженными типами спаривания. Лишь благодаря мутациям в гене, отвечающем за тип спаривания, можно получить как «исключение» вегетативные клетки пивоваренных дрожжей, способные к спариванию, после чего их можно скрестить с клетками противоположного типа спаривания. Именно на этом основана технология «редкого спаривания». Напротив, неполовой цикл представляет собой соединение вегетативных клеток или протопласт. Другой возможностью является трансформация — внесение генетической

информации в материнскую клетку. Применение неполового (соматического) цикла или трансформации позволяет комбинировать наследственную информацию даже различных видов или родов микроорганизмов (в цикле размножения такая возможность отсутствует).

Протопластами являются клетки, стенки которых имеют такой состав ферментов, который обеспечивает их осмотическую лабильность. В гипотонических растворах они разрываются, а в гипертонических растворах сохраняют некоторое время жизнеспособность, принимая шарообразную форму. Регенерация стенки клетки происходит путем введения протопластов в гипертонический питательный агар. Клетка, ставшая после этого вновь полноценной, может вновь размножаться путем почкования. В определенных условиях протопласты способны независимо от их типа спаривания и видовой принадлежности снова сливаться друг с другом. Путем слияния протопластов можно осуществлять скрещивание пивоваренных дрожжей, в том числе пивоваренных дрожжей с дрожжами-киллерами.

Дрожжи-киллеры выделяют токсин, который при содержании дрожжей-киллеров в популяции культурных дрожжей в 1-2% способен подавить жизнедеятельность культурных дрожжей. Хотя такие дрожжи-киллеры не прекращают процесс брожения, пиво приобретает посторонний привкус (например, фенольный — см. раздел 7.4.3.3).

Особенно заметно проявляется вредное действие дрожжей-киллеров в непрерывных системах брожения. В настоящее время отсутствуют достоверные сведения о том, в какой степени при нормальном брожении на пивоваренном производстве дрожжи-киллеры способны инфицировать сусло или нарушать ход процесса брожения.

За выработку дрожжами-киллерами токсина (а следовательно, и за сопротивляемость к нему) отвечают гены, расположенные не в хромосомах ядра клетки, а в так называемой плазмиде-киллере. Эта плаزمида является молекулой РНК с двойной спиралью, упакованной в белковую оболочку и присутствующей в 10-12 копиях за пределами ядра клетки в цитоплазме дрожжей-киллеров. Так как гены, отвечающие за поведение дрожжей, расположены на хромосомах ядра клетки (как и гены, которые делают дрожжи-убийцы неприемлемыми в качестве пивоваренных дрожжей, например, из-за образования постороннего привкуса, пониженной способности к брожению, неблагоприятных хлопьеобразующих свойств), то скрещивание пивоваренных дрожжей с дрожжами-киллерами следует проводить только до стадии слияния цитоплазм (плазмогамии), но не слияния ядер (кариогамии). Таким образом, происходит замена только цитоплазматических генов, но не хромосомных. Подобные гибриды в отличие от гибридов с плазмогамией и кариогамией, имеют ядро одного из «родителей» с цитоплазмой, содержащей плазмиды обоих «родителей». У гибридов с ядром клетки пивоваренных дрожжей речь идет о «желаемых» пивоваренных дрожжах-киллерах. Дрожжи с ядром дрожжей-киллеров можно обнаружить и выделить с помощью маркеров. Полученные таким способом «пивоваренные дрожжи-киллеры» обладают свойствами пивоваренных дрожжей, однако при брожении они выделяют активный токсин, служащий защитой против контаминации дрожжами-киллерами. Дрожжи-киллеры (и тем самым пивоваренные дрожжи-киллеры) невосприимчивы к некоторым токсинам отдельных рас дрожжей, например к K_1 .

В ходе протопластического слияния или трансформации могут вводиться чужеродные гены — например, β -1,4-глюканазы из гифомицет. Эндо- β -1,3- и 1,4-глюканазы от *Bacillus subtilis* вносят в пивоваренные дрожжи верхового и низового брожения. При этом бродильная способность дрожжей не меняется, а устойчивость гена β -глюканазы в дрожжах для низового брожения оказывается лучше, чем в дрожжах для верхового брожения, в частности, для производства эля.

Образование 2-ацетолактата или 2-ацетогидроксибутирата может быть снижено путем редуцирования синтеазы ацетогидроксикислот (прерывания областей кодирования). Повышение активности редуцирующих изомераз и дегидратаз может инициировать усиленный приток ацетогидроксикислот к валину или лейцину.

На этих примерах мы хотели показать результаты, уже достигнутые генной инженерией, и показать, каких результатов можно ожидать в ближайшем будущем. До сих пор открытым остается вопрос, не окажут ли эти модификации долговременного воздействия на общее поведение дрожжей, а также вопрос о продолжительности сохранения свойств, внесенных плазмидами. В случае пивоваренных дрожжей-киллеров проблем в этом отношении пока не выявлено.

3.1.7. Автолиз дрожжей

Автолиз дрожжей происходит при неправильном их хранении, а также при определенных условиях в ходе брожения и хранения пива. Ферменты дрожжей расщепляют углеводы клетки и азотистые вещества, разрушая структуру дрожжевой клетки, а вакуоли увеличиваются за счет цитоплазмы. Субстрат насыщается

аминокислотами и другими продуктами расщепления белка, особенно нуклеотидами; значение pH возрастает, особенно вследствие выделения щелочных аминокислот и связывания ионов водорода продуцируемыми фосфатами и протеинами. Кроме того, происходит выделение среднемолекулярных жирных кислот (C_6-C_{12}) и их сложных эфиров, а также протеаз дрожжей и других ферментов. Первые расщепляют высокомолекулярные белковые вещества с увеличением содержания α -аминного азота, что негативно отражается на пенообразующих свойствах пива. Эти явления, происходящие в конце процесса брожения, при дображивании (особенно при повышенных температурах), а также при длительном холодильном хранении суслу с высоким содержанием дрожжей, являются лишь начальной стадией автолиза, которая органолептически проявляется в появлении резкого вкуса, отчасти напоминающего «старые дрожжи». Сильный автолиз дрожжей может вызывать появление в пиве даже привкуса креозота (см. раздел 7.4.3.3).

3.2. Метаболизм дрожжей

Как и в любом живом организме, в дрожжах происходит регулярный обмен веществ. В ходе протекающих при этом реакций энергия выделяется и потребляется, причем эти процессы взаимосвязаны. В клетке происходит накопление резервных веществ, которые при необходимости могут быть использованы. В процессе распада и синтеза веществ образуется множество промежуточных продуктов реакций и новых веществ. При отсутствии необходимых дрожжам веществ они могут синтезировать их из других соединений. В зависимости от степени

необходимости такого синтеза различается также количество различных продуктов обмена веществ в субстрате. Таким образом, наряду с этиловым спиртом и углекислым газом, составляющими основную долю продуктов брожения, образуется также большое число побочных продуктов, имеющих большое значение для качества пива.

Для процессов метаболизма клетке необходима энергия, однако используется не энергия, отдаваемая в процессе брожения в виде тепла, а лишь химическая энергия соединений клетки. Важнейшими из них являются аденозиндифосфат (АДФ) и аденозинтрифосфат (АТФ), служащие своего рода аккумуляторами и передатчиками энергии. Из 2870 кДж (686 ккал), образующихся при сжигании одной молекулы глюкозы, при дыхании химически связывается около 40 % (1110 кДж или 266 ккал), тогда как при брожении затраты энергии несопоставимо меньше (80 кДж или 19 ккал).

3.2.1. Метаболизм углеводов

В пивном сусле из пригодных для утилизации дрожжами углеводов присутствуют гексозы — глюкоза и фруктоза, дисахариды сахароза и мальтоза, а также трисахарид мальтотриоза.

Низкомолекулярные и высокомолекулярные декстрины дрожжами не потребляются. Глюкоза и фруктоза диффундируют через клеточную стенку и преобразуются внутри дрожжевой клетки по механизму, который мы рассмотрим ниже. Сахароза расщепляется инвертазой в области клеточной стенки до глюкозы и фруктозы. Мальтозе же и мальтотриозе, чтобы попасть внутрь клетки, где они гидролизуются мальтазой до глюкозы, требуется специальная транспортная система

с использованием ферментов мальтосепермеазы и мальтотриосепермеазы. Если дрожжи адаптированы к мальтозе и мальтотриозе (как, например, в конце главного брожения, когда дрожжи сразу же вновь вносятся в следующую порцию сусла), утилизация этих разных видов Сахаров дрожжами затем идет примерно параллельно. Если до повторного внесения дрожжи хранятся под водой, то адаптация к мальтозе утрачивается, и дрожжи сбраживают сахара в описанной выше последовательности.

Расщепление глюкозы в анаэробной среде до спирта и CO_2 или аэробным путем — до CO_2 и воды происходит следующим образом (мы приводим упрощенный вариант), причем до образования пировиноградной кислоты (фаза 9) пути спиртового брожения и дыхания протекают параллельно.

3.2.1.1. Схема спиртового брожения по Эмбдену-Мейергофу-Парнасу (*Embden-Meyerhof-Parnas*):

1. Глюкоза переводится гексокиназой в гликозо-6-фосфат. В качестве донора фосфата выступает АТФ, который превращается при этом в менее богатый энергией АДФ.
2. В следующей фазе под действием фермента фосфогексоизомеразы происходит перегруппировка во фруктозо-6-фосфат.
3. В результате дальнейшего фосфорилирования под действием фосфофруктокиназы и АТФ (в качестве Р-донора) наряду с АДФ образуется фруктозо-1,6-дифосфат.
4. Затем фруктозо-1,6-дифосфат расщепляется альдолазой на два изомерных трифосфата — глицераль-3-фосфат и глицерон-3-фосфат, которые находятся в обратимом равновесии

- (1 : 22) и катализируются триозофосфатизомеразой.
5. В дальнейшем происходит превращение глицераль-3-фосфата, который восстанавливается ферментом глицеральдегидро-3-фосфат-дегидрогеназы в две молекулы 1,3-дифосфоглицерата. При этом в связь встраивается неорганический фосфат. Для высвободившегося водорода акцептором служит НАД⁺ (никотинамид-аденин-динуклеотид).
 6. В дальнейшем фосфоглицераткиназа вызывает передачу фосфата гидроксильной группы и образуется 3-фосфоглицерат, причем АДФ переходит в АТФ.
 7. Под действием фосфоглицератмутазы происходит перегруппировка фосфата и образуется 2-фосфоглицерат.
 8. Энолаза катализирует переход к фосфоенолпирувату.
 9. Пируваткиназа переводит две молекулы фосфоенолпирувата в две молекулы пирувата, и АДФ снова преобразуется в АТФ. Глицерон-3-фосфат (фаза 4) может быть преобразован в глицеральдегид-3-фосфат (ферментом триозофосфатизомеразой), а затем также пройти фазы от 5 до 9. Происходит разделение хода реакции анаэробного и аэробного гликолиза. Гликолиз продолжается по анаэробному пути.
 10. Под действием пируватдекарбоксилазы происходит необратимое декарбоксилирование карбоксильной группы пирувата в ацетальдегид с высвобождением CO₂.
 11. Катализованный алкогольдегидрогеназой ацетальдегид редуцируется до этилового спирта. Донором водорода здесь служит НАД Н₂ (из 5 фазы цикла).
- 3.2.1.2. *Дыхание.* Как мы уже отмечали, аэробный обмен веществ до фазы 9 протекает параллельно анаэробному. Если на этой стадии присутствует кислород, то дальнейшее расщепление протекает по циклу лимонной кислоты (циклу Кребса):
- 10а) Пируват коферментом А (CoA) переводится сложным способом через отщепление CO₂ в ацетил-CoA — активированную уксусную кислоту. При этом НАД⁺ восстанавливается в НАД Н₂.
 - 11а) С помощью оксалацетата ацетильная группа активированной уксусной кислоты превращается в лимонную кислоту.
 12. Под действием аконитгидратазы через цис-аконитовую кислоту в две стадии образуется изолимонная кислота.
 13. Изоцитрат-дегидрогеназа катализирует при участии НАД⁺ или НАД Р⁺ (никотинамид-аденин-динуклеотид-фосфата) дегидратацию в оксалосукцинат (щавелево-янтарную кислоту).
 14. Благодаря той же дегидрогеназе щавелево-янтарная кислота декарбоксилируется в 2-оксоглутарат (α -кетоглутаровую кислоту) с высвобождением CO₂.
 15. Благодаря комплексу из трех ферментов (α -кетоглутарат-декарбоксиаза, липоилредуктаза-транс-сукцинилза и дегидролипоил-дегидрогеназа) происходит окислительное декарбоксилирование до янтарной кислоты. При этом благодаря коферменту А в качестве промежуточного продукта образуется сукцинил-коА.
 16. Янтарная кислота дегидрируется дегидрогеназой янтарной кислоты до фумаровой кислоты.
 17. Благодаря присоединению воды фумараза (фумаратгидратаза) способствует образованию яблочной кислоты.

18. Цикл завершается дегидрированием яблочной кислоты (малатдегидрогеназы) в щавелево-уксусную кислоту и повторяется с окислительным расщеплением ацетильной группы.

Энергетический баланс цикла лимонной кислоты (обратимого) сбалансирован. Отщепляемые атомы водорода окисляются кислородом воздуха до воды. При этом вновь образуются богатые энергией фосфатные связи (АТФ), обеспечивающие этот круговорот или другие процессы. Из каждой молекулы глюкозы, которая окислительным путем расщепляется на CO_2 и H_2O , образуется 38 молекул АТФ. При анаэробном расщеплении по пути спиртового брожения расходуется всего 2 молекулы АТФ на 1 моль глюкозы.

Помимо приведенной выше схемы известен еще один способ расщепления глюкозы.

3.2.1.3. Пентозо- или гексозо-монофосфатный цикл. В этом цикле расщепление глюкозы до CO_2 осуществляется путем прямого окисления. Это происходит за счет окислительного декарбоксилирования глюкозо-6-фосфата в рибулозо-5-фосфат, причем редуцируются две молекулы трифосфоридиннуклеотида (НАД Р), которые затем окисляются кислородом при дыхании. В результате могут образовываться богатые энергией фосфатные связи. В конечном итоге из трех пентозо-фосфатов возникают 2 гексозы (фруктозо-6-фосфат и глюкозо-6-фосфат) и одна триоза. Гексозы затем могут быть снова подвергнуты прямому глюкозному окислению.

После многократного повторения этого цикла глюкоза может полностью окислиться. В анаэробных условиях этим путем расщепляется лишь 10 % глюкозы,

а в аэробных дрожжах по пентозофосфатному циклу метаболизируются 26 %.

Как и в схеме Эмбдена-Мейергофа-Парнаса, так и в пентозо-фосфатном цикле отдельные промежуточные продукты реакций имеют большое значение в жизнедеятельности дрожжей для обмена «строительными материалами». Так, дрожжи идут по этому пути, если для синтеза нуклеиновых кислот требуется пентозо-фосфат или редуцированный НАД Р.

Дрожжи обладают способностью приспособить обмен веществ как к анаэробным, так и к аэробным условиям. Хотя первый вариант является более предпочтительным, при наличии кислорода брожение сильно замедляется или совсем прекращается, так как кислород расходуется на дыхание (эффект Пастера). Так как при брожении для метаболизма отсутствует необходимость в дыхательных ферментах, то дрожжи вырабатывают их только через мембранную систему митохондрий.

В аэробных культурах дрожжей, наоборот, небольшая часть глюкозы сбраживается в спирт и CO_2 . Высокое содержание глюкозы замедляет работу дыхательного ферментного комплекса, и брожение происходит вместе с дыханием (эффект Кребтри).

При обычном брожении в пивоварении сбраживается примерно 98 % Сахаров, и на дыхание расходуются лишь 2 %.

3.2.1.4. Синтез углеводов, в частности гликогена, осуществляется под действием трансглюкозидаз и фосфорилаз. При этом дрожжи образуют резервные углеводы (гликоген и трегалозу) только в анаэробной фазе, то есть после завершения размножения дрожжей. Образование гликогена соответствует примерно 0,25 % потребления мальтозы.

Количество гликогена как резервного углевода в первые 2 ч брожения снижается с 40 % (в пересчете на СВ) до 20 % (см. раздел 3.1.2.2). Наряду с этим дрожжи вырабатывают маннан и глюкоан, необходимые для образования клеточных стенок.

3.2.2. Метаболизм азотистых веществ

Для размножения дрожжей и необходимого для этого строительства нового клеточного вещества дрожжам требуется азот. В начальной фазе брожения низкомолекулярные пептиды гидролизуются и утилизируются дрожжами. Во время основной стадии брожения главным, но не единственным источником азота составляют аминокислоты. Дипептиды перерабатываются медленнее, чем аминокислоты. В конце брожения даже при наличии аминокислот вновь начинается ассимиляция пептидов. Аминокислоты важны не только для биосинтеза протеинов дрожжей, но и для образования пермеаз и других ферментов. В сусле для создания необходимых условий для размножения дрожжей и протекания брожения в нужном направлении должно содержаться достаточное количество аминокислот и пептидов.

3.2.2.1. Усвоение аминокислот дрожжами происходит с помощью пермеаз в определенной последовательности. Через некоторое время, за которое дрожжи потребляют половину количества каждой аминокислоты, их можно разделить на четыре группы:

группа А: глютаминовая и аспарагиновая кислоты, аспарагин, глютамин, серин, треонин, лизин, аргинин;

группа Б: валин, метионин, лейцин, изолейцин, гистидин;

группа В: глицин, фенилаланин, тирозин, триптофан, аланин, аммиак;

группа Г: пролин.

Если первые три группы абсорбируются довольно быстро, то пролин дрожжи практически не усваивают. Деление на эти группы действует для дрожжей верхового брожения; для дрожжей низового брожения хотя и имеет место аналогичное распределение аминокислот по группам, в исследованных дрожжах выявлено более позднее усвоение валила и гистидина и наблюдается нестабильное поведение аргинина.

На последовательность усвоения аминокислот оказывают влияние системы пермеаз. Первоначально усвоенная универсальная аминокислота пермеаза (УАП) во время первой стадии брожения еще не синтезируется, так как в сусле еще присутствуют ионы аммония. Аминокислоты группы А и, вероятно, группы Б характеризуются более специфичными транспортными системами, чем УАП. После усвоения ионов аммония из сусла образуется УАП, и все аминокислоты за исключением одной аминокислоты группы Г (пролина) усваиваются по этой транспортной системе дрожжевой клеткой. Выяснилось, однако, что на эффективность абсорбции аминокислот пермеазами влияет состав жирных кислот фосфолипидов в мембране цитоплазмы дрожжевой клетки. Этот состав жирных кислот в ходе брожения изменяется, причем отсутствие кислорода способствует строительству клеточных мембран со все увеличивающейся долей остатков насыщенных жирных кислот, которые при наличии ненасыщенных жирных кислот сусла также потребляются для строительства клеточных стенок. При их дефиците эффективная аэрация может даже вызвать синтез ненасыщенных кислот из насыщенных.

Процесс усвоения аминокислот во время брожения таким образом проходит многопланово, однако при брожении потребление аминного азота зависит не столько от содержания какой-либо отдельной аминокислоты, а скорее от общего содержания ассимилируемого азота.

3.2.2.2. Вместе с тем значение отдельных аминокислот важно и само по себе. Аминокислоты в значительном объеме ассимилируются в ненарушенном состоянии, однако в результате трансаминирования дрожжами они преобразуются в такие аминокислоты, которые именно в этот момент времени наиболее необходимы для строительства клеточного белка. Для этого служат не только углеродные каркасы аминокислот, но и каркасы простых Сахаров, оксикислоты которых при окислительном метаболизме углеводов образуются как промежуточные продукты реакции (например, α -кетоглутаровая кислота в фазе 15 дает глутаминовую кислоту, щавелево-уксусная кислота — аспарагиновую, а пировиноградная кислота — аланин). В связи с этим одни аминокислоты, α -кетокислоты которых важны для синтеза аминокислот, должны присутствовать в достаточном количестве, тогда как другие, несмотря на их вклад в содержание общего ассимилируемого азота, не столь важны. Лизин, гистидин, аргинин и лейцин продуцируют оксикислоты, которые могут ассимилироваться только определенными аминокислотами субстрата. Нехватка этих аминокислот может изменить белковый обмен дрожжей и отрицательно повлиять на качество пива. Концентрация изолейцина, валина, фенилаланина, глицина, аланина и тирозина в сусле важна из-за того, что на более поздних стадиях брожения подавляется синтез Сахаров из α -кетокислот.

При этом они должны извлекаться из углеродного каркаса соответствующих аминокислот. С другой стороны, слишком низкое их содержание может отрицательно влиять на качество пива. Третья группа аминокислот для метаболизма дрожжей имеет небольшое значение: аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, аспарагин, глутамин, треонин, серин и метионин на первых стадиях брожения извлекаются преимущественно из углеродных каркасов аминокислот, а на последней стадии — из кетокислот Сахаров.

К этой группе можно отнести и пролин, так как его концентрация большого значения не имеет.

Дефицит указанных групп аминокислот проявляется в усиленном использовании α -кетокислот углеводного метаболизма. Оксикислоты, высвобождающиеся при этом путем дезаминирования аминокислот, декарбоксилируют в альдегид, который имеет на один атом углерода меньше, чем первоначальная кетокислота, и затем восстанавливаются до спирта (механизм Эрлиха). Это приводит к увеличению содержания высших спиртов и тем самым оказывает влияние на качество пива (см. раздел 7.4.2.2). Избыток аминокислот также вызывает усиленное образование побочных продуктов (см. раздел 3.2.6).

3.2.2.3. *Метаболизм азотистых веществ при брожении.* В 12 %-ном сусле, приготовленном только из солода, содержится около 1000 мг азота/л. Несоложеное сырье (рис и кукуруза) вызывает снижение содержания азота, причем около 60 % приходится на долю низкомолекулярного азота; α -аминный азот составляет 20-23 %, то есть в сусле из соложенного зерна - 200-260 мг/л.

Снижение содержания азота при нормальном брожении составляет 250-320 мг/л, и таким образом в пиве, как правило, остается еще от 680 до 750 мг/л азота. Основное снижение содержания азота происходит вследствие его усвоения дрожжами, включающего не только α -аминный азот, но и низкомолекулярные пептиды. Содержание ос-аминного азота уменьшается на 100-120 мг/л. Из-за снижения значения pH в ходе брожения 50-70 мг высокомолекулярных азотистых веществ/л выпадают в осадок, адсорбируются на поверхности дрожжей или захватываются пузырьками углекислого газа и переходят шапку пены (деку). Дрожжи, однако, не только потребляют азотистые вещества, но и вновь выделяют часть из них в виде аминокислот и пептидов. С учетом этого количества азота дрожжи перерабатывают около 40 % азота сусла.

3.2.3. Метаболизм жиров

Липиды дрожжей вместе с белком образуют клеточные мембраны дрожжей. При этом речь идет о фосфолипидах, стеринах (эргостерине, цимостерине), гликолипидах и др. Липиды составляют около 80 % СВ клеточных стенок. Так как масса дрожжей во время брожения увеличивается в 4-6 раз, то наряду с белком должны быть синтезированы и липиды, для чего требуется молекулярный кислород.

3.2.3.1. Образование жирных кислот начинается с активирования уксусной кислоты, образующейся при окислительном декарбоксилировании пирувата. Путем конденсации ацетил-коА и нескольких молекул малонил-коА в процессе синтеза жирных кислот образуются насыщенные жирные кислоты. Ненасы-

щенные жирные кислоты образуются путем дегидрирования насыщенных жирных кислот с одинаковой длиной цепочек при участии НАДФ Н₂ и молекулярного кислорода. При этом возможно формирование только одной двойной связи (между 8-м и 9-м атомами углерода). На синтез жирных кислот положительно влияют фосфаты, магний, биотин и пантотеновая кислота.

3.2.3.2. Значение жирных кислот в метаболизме дрожжей. Высокомолекулярные ненасыщенные жирные кислоты, присутствующие в клеточной стенке в виде липидов, в частности стерин (например, эргостерин), способствуют усвоению питательных веществ в растворенной или диспергированной форме. При недостатке таких липидов поглощение аминного азота становится невозможным, даже если в сусле содержится достаточное количество аминокислот. Транспортировка фосфата через клеточную мембрану также зависит от содержания в ней липидов. Кроме того, ненасыщенными жирными кислотами активируются важные для реакций фосфорилирования АТФ-ферменты. Таким образом, липиды в той или иной степени важны для основного пути расщепления глюкозы по схеме Эмбдена-Мейергофа-Парнаса.

Существенное влияние жирных кислот на процессы, происходящие во время брожения, свидетельствует о том, что в клетке должно присутствовать некоторое минимальное число ненасыщенных высокомолекулярных жирных кислот. Они могут быть внесены с суслом, что, однако, в последующем вызывает проблемы со стабильностью вкуса пива. Стимулировать синтез этих жирных кислот необходимо за счет хорошего снабжения кислородом в начале брожения.

В сусле также присутствуют насыщенные и ненасыщенные среднемолекулярные жирные кислоты (C_6-C_{12}). Они также участвуют в процессе метаболизма дрожжей, причем C_2 -фрагменты используются через ацетил-коА и малонил-коА для синтеза высокомолекулярных жирных кислот.

3.23.3. Жирные кислоты и образование сложных эфиров. Образование сложных эфиров в ходе брожения (см. раздел 3.2.6.2) может подавляться повышенным содержанием ненасыщенных жирных кислот в сусле. С их помощью образуется больше клеточной массы дрожжей, что обуславливает утилизацию богатых энергией соединений в виде кофермента А, которого затем не хватает для образования сложных эфиров. В некоторых условиях, однако, насыщенные кислоты могут оказывать обратное действие — например, стеариновая и пальмитиновая кислоты в форме коА-комплексов способны выступать в качестве ингибитора синтеза жирных кислот. Ненасыщенные жирные кислоты снижают также образование среднемолекулярных жирных кислот (по-видимому, этот механизм сходен с вышеописанным).

3.2.3.4. Синтез глицерина основан на расщеплении углеводов (схема Эмбдена-Мейергофа-Парнаса, фаза 4). Образующийся при этом диоксиацетонфосфат восстанавливается с помощью НАДН в глицеринфосфат и фосфоэстеразой переводится в глицерин. Глицерин, образующийся при *расщеплении жиров*, наоборот, вводится в анаэробный углеводный обмен. Свободные жирные кислоты окисляются до CO_2 и воды, однако степень этой реакции зависит от степени расщепления углеводов.

3.2.4. Метаболизм минеральных веществ

3.2.4.1. Метаболизм серы. Сера необходима дрожжам для синтеза клеточного белка, определенных коферментов (например, кофермента А, глутатиона и др.), а также витаминов. В сусле присутствуют неорганические сульфаты и органические серосодержащие соединения — серосодержащие аминокислоты, пептиды и белки, а также витамины (в частности биотин и тиамин). В разных количествах присутствуют также диметилсульфид (ДМС) и его предшественники (см. раздел 2.5.5.5).

При брожении образуются летучие сернистые соединения, которые имеют большое значение для вкуса пива и способны оказать на него отрицательное воздействие. Образуются они при синтезе аминокислот цистеина и метионина путем встраивания в молекулу сероводорода, который, в свою очередь, образуется в результате восстановления сульфатов с помощью SO_2 . Таким образом, наряду с сероводородом и SO_2 возникают метилсульфид как гидролитический продукт расщепления цистеина и метионина (продукт трансаминирования метионина), а также этилсульфид как результат восстановления тиоацетальдегида. Метил- и этилсульфиды могут окисляться в дисульфиды. Из метионина по механизму Эрлиха образуется метиональ. Соответствующие сложные эфиры обнаруживаются и в пиве. Диметилсульфид образуется при брожении из своего предшественника, выдержавшего процесс кипячения сусле. В пиве обнаруживается также ДМС начального сусле (за вычетом потерь на испарение).

В образовании летучих сернистых соединений решающее значение имеет

содержание в сусле метионина, биотина и пантотеновой кислоты. Отсутствие последней или же повышенное содержание треонина, ингибирующего синтез метионина, приводит к интенсивному образованию сероводорода.

3.2.4.2. *Диоксид серы* (SO_2) образуется из сульфатов сусла, превращаемых в аденозилфосфосульфат (АФС) с помощью АТФ-сульфуриказы. АФС преобразуется АФС-киназой в «активный сульфат», 3-фосфоаденозил-5-фосфосульфат (ФАФС). ФАФС-редуктаза восстанавливает ФАФС до тиоредоксинсульфида. Этот персульфид переносит затем сульфид на ацелированные акцепторы аминокислот, с которыми он вступает в аминокислотный обмен. Различные фазы этих реакций подавляются S-аденозилметионином, действие которого ингибируется метионином. Оставшийся окисленный тиоредоксин восстанавливается тиоредоксин-редуктазой с использованием одной молекулы НАДФ⁺ до ФАФС, после чего вновь участвует в последующих реакциях. Если метионин и цистеин обладают ингибирующим действием на образование SO_2 , то высокое содержание треонина, серина и изолейцина стимулирует его образование.

Усиленное образование ацетальдегида (см. раздел 3.2.6.3) приводит к аддитивному соединению с SO_2 , нерасщепляемому сульфитредуктазой. По-видимому, ацетальдегид «вырывает» сульфит из метионин-цистеинового обмена, что приводит к его активизации и повышенному образованию сульфита.

3.2.4.3. Для метаболизма дрожжей очень большое значение имеют и *другие минеральные вещества* — например, фосфаты участвуют в передаче энергии в дрожевой

клетке (АТФ, АДФ). Их нехватка в условиях ингибирования потребления азота приводит к накоплению клеткой жиров. *Ионы калия* участвуют в процессе расщепления углеводов путем активации ферментов гликолиза (особенно пируваткиназы). *Ионы кальция* оказывают положительное влияние на размножение дрожжей, стимулируют активность алкогольдегидрогеназы и малатдегидрогеназы, а при очень большом содержании усиливают хлопьеобразование. *Ионы магния* активизируют *транс*-фосфатазу, карбоксилазу и энлазу в углеводном обмене. *Железо* в небольших количествах важно для гликолиза и дыхательного обмена, медь в небольшом количестве оказывает положительное действие, а в больших количествах, напротив, ингибирует мальтазу, фосфофруктокиназу, пируваткиназу и другие ферменты гликолиза. Цинк содействует синтезу белков и размножению клетки. Как компонент алкогольдегидрогеназы он играет существенную роль в скорости расщепления углеводов.

3.2.5. Ростовые вещества (витамины)

Наряду с углеводами, белками, жирами и минеральными веществами для поддержания жизненных процессов необходимы ростовые вещества. Например, *тиамин* (витамин В₁) как кофермент карбоксилазы участвует в метаболизме углеводов, *рибофлавин* (витамин В₂, *лактофлавин*) участвует (в виде мононуклеотида флавина простетических групп дегидрогеназ) в окислительно-восстановительных процессах. *Пиридоксин* (витамин В₆) как простетическая группа катализирует трансминирование аминокислот. *Никотинамид* (ниацин) активизирует

ферменты, транспортирующие водород, и тем самым, наряду с тиамином, очень важен для процесса брожения. *Пантотеновая кислота* (витамин В₃) является структурным элементом кофермента А (см. раздел 3.2.1.2) и играет важную роль в метаболизме углеводов, жиров и белков. Кроме того, *фолиевая* и *p-аминобензойная кислоты* участвуют в образовании определенных аминокислот. Существенным фактором для размножения пивоваренных дрожжей является *биотин* (витамин Н), который как кофермент участвует во всех процессах карбоксилирования, зависящих от АТФ. Он также играет определенную роль в синтезе жирных кислот. Недостаток биотина может вызвать изменение плазматических мембран и тем самым нарушить массообмен. *Мезоинозит*, сам по себе неэффективный, способен усиливать действие биотина. Следует учитывать, что мезоинозит, как и *холин* (компоненты кофосфатазы), в настоящее время к витаминам не причисляют.

3.2.6. Продукты метаболизма и их влияние на качество пива

Во время спиртового брожения образуется множество различных химических соединений — высшие спирты, эфиры, альдегиды, диацетил, ацетон и др., являющихся продуктами метаболизма и способные влиять на аромат и вкус пива.

3.2.6.1. Высшие спирты образуются из аминокислот, которые в ходе реакций трансаминирования превращаются в соответствующие α -кетокислоты, а через декарбоксилирование и восстановление — в спирты. Наряду с этим путем, давно известным под названием механизма

Эрлиха, большая часть высших спиртов образуется в ходе внутриклеточного синтеза аминокислот из α -кетокислот (см. раздел 3.2.2.2). Содержание высших спиртов колеблется от 60 до 150 мг/л (при нормальном низовом брожении — от 60 до 90 мг/л), и их содержание можно некоторым образом соотнести с содержанием образовавшегося этилового спирта.

Образование высших спиртов происходит преимущественно в ходе главного брожения в зависимости от используемой расы дрожжей, состава сусле и условий брожения. Дрожжи верхового брожения образуют существенно больше побочных продуктов, чем дрожжи низового брожения, причем пылевидные дрожжи продуцируют меньше высших спиртов, чем хлопьевидные. Следствием хорошего поступления в сусло аминокислот (см. раздел 2.5.8) является снижение образования сивушных масел. В сусле из бедного белком или слабо растворенного солода (или солода с использованием несоложенного сырья) всегда образуется больше высших спиртов. Очень высокое содержание α -аминного азота может вызвать усиленное образование высших спиртов, так как в этом случае при известных условиях больше α -кетокислот, чем это необходимо для трансаминирования. Все мероприятия по форсированию брожения (например, применение более высоких температур или брожения с перемешиванием) приводят к увеличению содержания этих побочных продуктов. Ослабить образование высших спиртов может применение давления. В ходе традиционного дображивания образование высших спиртов незначительно и составляет 5-15 мг/л.

Из алифатических спиртов нормальное содержание *n*-пропанола (пропанола-1) составляет 2-10 мг/л, *n*-бутанола

(бутанола-1) — в диапазоне 0,4-0,6 мг/л, изобутанола (2-метилпропанола-1) — 5-10 мг/л, оптически активного амилового спирта (2-метилбутанола-1) — 10-15 мг/л и изоамилового спирта (3-метилбутанола-1) — 30-50 мг/л. Ароматические высшие спирты способны влиять на вкус и аромат пива. Содержание фенилэтилового спирта, который придает пиву специфический навязчивый «цветочный» привкус, обычно составляет от 10 до 20 мг/л, причем при интенсивных способах проведения брожения его содержание увеличивается до 35-45 мг/л.

Триптофол образуется в ходе брожения, а при хранении вновь расщепляется. Он обладает слабым горьким (в определенных условиях слегка фенольным) вкусом, и у нормального пива его содержание составляет от 0,15 до 0,5 мг/л (в ниве, приготовленном по форсированному способу — от 0,5 до 4,0 мг/л). Тиросол характеризуется интенсивным горьким, слегка желчным вкусом и похожим на фенольный запахом. Нормальное его содержание составляет 3-6 мг/л (в пиве «теплого» брожения — 12-24 мг/л).

3.2.6.2. *Сложные эфиры* являются важнейшими участниками формирования аромата. Как продукты метаболизма дрожжей они образуются внутри клетки через катализируемые ферментами реакции при участии алкоголь-ацетилтрансферазы из ацетил-коА и соответствующих спиртов. Их развитие тесно связано с ростом дрожжей и образованием высокомолекулярных жирных кислот (см. раздел 3.2.3.3). Действие алкоголь-ацетилтрансферазы, локализованной в клеточной мембране, ингибируется ненасыщенными жирными кислотами и эргостерином. При традиционном дображивании пива содержание сложных эфиров

может существенно повыситься в результате реакций нелетучих и летучих кислот со спиртами.

Содержание уксуснокислых эфиров зависит от степени размножения дрожжей — поскольку их образование осуществляется в основном через ацетил-коА, то все мероприятия, направленные на интенсивное размножение дрожжей, вызывают снижение содержания этих эфиров. К подобным мероприятиям можно отнести, например, интенсивную и при известных условиях многоступенчатую аэрацию, частое внесение семенных дрожжей, интенсивное перемещение сусле в бродильном танке под действием естественной конвекции или перемешивания, особенно в высоких бродильных танках. При прочих равных условиях содержание сложных эфиров возрастает с повышением температуры, а использование давления подавляет образование уксуснокислых эфиров. Состав сусле также влияет на их содержание, в частности содержание в нем аминокислот или их доля относительно сбраживаемых Сахаров (высокая доля аминокислот способствует образованию сложных эфиров).

При более длительном периоде дображивания, особенно у крепкого пива, формируется приятный эфирный аромат. Количество уксуснокислых эфиров составляет в пиве низового брожения 15-40 мг/л (в пиве верхового брожения оно иногда может быть выше). При этом на этилацетат приходится 12-35 мг/л, а метилацетат присутствует лишь в незначительном количестве (1-8 мг/л), как и изоамилацетат (изопентиловый эфир) — 1-5 мг/л. При превышении порогового значения восприятия (5 мг/л, а согласно некоторым данным — даже 1,6 мг/л) изоамилацетат придает пиву

отчетливый фруктовый привкус. Содержание β -фенилэтилацетата составляет 0,3-0,8 мг/л.

В формировании аромата пива участвуют также этиловые эфиры низкомолекулярных жирных кислот (гексановой, октановой и декановой кислот), так называемый «яблочный эфир». Последний является важнейшим эфиром «дрожжевого масла»; его содержание значительно возрастает при длительном дображивании, при использовании некоторых способов дображивания при повышенных температурах, а также при брожении под давлением. Общее содержание этого сложного эфира составляет от 0,3 до 1,0 мг/л, причем при использовании вышеуказанных способов оно ближе к верхней границе.

3.2.6.3. Альдегиды. Ацетальдегид образуется как промежуточный продукт метаболизма дрожжей из пирувата в ходе его декарбосилирования в первые 48 ч главного брожения, а затем в ходе брожения и дображивания его содержание снижается параллельно исчезновению вкуса молодого пива. Поэтому содержание ацетальдегида очень сильно колеблется (от 3 до 20 мг/л — в среднем 10 мг/л — при пороге вкусового восприятия 20-25 мг/л). Высокие нормы внесения дрожжей, незначительная аэрация, повышенные начальные температуры суслу при внесении дрожжей и главного брожения способствуют образованию альдегидов, однако при высоких температурах их содержание убывает быстрее, чем в условиях нормального брожения. Это объясняется не только восстановлением до этилового спирта, но и испарением (точка кипения 21 °С), а также удалением CO_2 . При увеличении давления в фазе главного брожения содержание ацетальдегида быстро

повышается, а затем медленно снижается, что обуславливается, в частности, ингибированием восстановления ацетальдегида в этиловый спирт.

3.2.6.4. Органические кислоты. К летучим кислотам относится уксусная кислота, содержащаяся в пиве в количестве 20-150 мг/л, и муравьиная кислота (20-40 мг/л), образующиеся в результате расщепления глюкозы. Образованию уксусной кислоты способствуют высокие нормы внесения дрожжей, высокая температура брожения и интенсивная аэрация суслу (в зависимости от расы дрожжей). В ходе дображивания наблюдается дальнейшее увеличение содержания летучих кислот. Нелетучие кислоты — пировиноградная, яблочная, лимонная, молочная — образуются в процессе обмена веществ при брожении, а также путем дезаминирования аминокислот. Значение органических кислот заключается в возможности образования ими сложных эфиров. Содержание пирувата — пировиноградной кислоты — (40-75 мг/л) зависит от расы дрожжей, но главным образом от интенсивности брожения, причем стимулируют ее образование высокие нормы внесения дрожжей, сильная аэрация и повышенные температуры брожения. Аналогичным образом можно повлиять на содержание яблочной кислоты (60-100 мг/л) и D-яблочной кислоты (10-100 мг/л), в отличие от L-молочной (40-80 мг/л) и лимонной (110-200 мг/л) кислот. Содержание последних определяется составом суслу, зависящем от качества солода, причем содержание молочной кислоты в случае биологического подкисления при приготовлении суслу может достигать существенно более высоких значений. При брожении, дображивании и созревании пива молочная

кислота этерифицируется, что выражается в более высоком содержании этилового эфира молочной кислоты. Здесь заслуживает внимания глицерин как продукт брожения — его содержание составляет от 1300 до 2000 мг/л в зависимости от количества сброженных сахаров, и поэтому у темного пива отмечается пониженное, а у светлого крепкого пива высокое содержание глицерина.

3.2.6.5. Низкомолекулярные свободные жирные кислоты как продукты метаболизма дрожжей образуются в ходе синтеза жирных кислот в первые 3-4 сут главного брожения. Речь идет о гексановой (капроновой), октановой (каприловой), декановой (каприновой) и додекановой (лауриновой) кислотах. При ускоренных способах брожения, как это происходит при интенсивной ступенчатой аэрации, повышенной норме внесения дрожжей и повышенных температурах, образование этих жирных кислот снижается и проявляется отчетливое влияние используемой расы дрожжей. Так как с увеличением длины цепи жирные кислоты задерживаются дрожжевыми клетками (обнаруживаются в «дрожжевом масле»), то при длительном созревании в условиях очень теплых броидильных подвалов может произойти их выделение. При автолизе дрожжей содержание жирных кислот значительно возрастает.

В пиве, сброженном под давлением, также обнаруживается повышенное содержание жирных кислот, выделяемых дрожжами на стадии созревания пива. На содержание свободных жирных кислот влияет физиологическое состояние дрожжей, способных отрицательно повлиять на вкус (появится дрожжевой привкус) и пенообразование. Готовое пиво обычно

характеризуется следующим составом низкомолекулярных жирных кислот: гексановая — 1-2 мг/л, октановая — 2-5 мг/л, декановая — 0,2-0,8 мг/л.

3.2.6.6. Вицинальные дикетоны — диацетил (2,3-бутандион) и 2,3-пентадион — являются продуктами метаболизма дрожжей. Диацетил (пороговое значение восприятия — 0,10-0,12 мг/л) явным образом негативно сказывается на вкусе пива, тогда как 2,3-пентадион благодаря существенно более высокому значению его порогового восприятия (0,6-0,9 мг/л) оказывает гораздо меньшее влияние.

Диацетил образуется внеклеточным путем из своего предшественника — 2-ацетолактата, который представляет собой промежуточный продукт биосинтеза Валина и образуется из пирувата и активного ацетальдегида. При этом содержание валина в сусле имеет регулирующее действие — в случае достаточно высокой его концентрации может наблюдаться ингибирующее действие.

Образование 2-ацетолактата зависит от температуры брожения, интенсивности метаболизма дрожжей и от штамма дрожжей. Дрожжи выделяют 2-ацетолактат, и следующей стадией реакции является окислительное декарбоксилирование 2-ацетолактата до диацетила в ходе спонтанной внеклеточной реакции первого порядка, зависящей не от дрожжей, а от температуры сусла и концентрации ионов водорода. Затем диацетил ферментативным путем (с помощью диацетилредуктазы) восстанавливается до ацетона, а он — до 2,3-бутандиола. Первая стадия реакции зависит от количества дрожжей, от их штамма, физиологического состояния, а также от продолжительности и температуры. Данная реакция протекает быстрее, чем декарбоксилирование 2-ацетолактата.

Особое значение приобретает образование 2-ацетолактата в ходе главного брожения и дображивания. Оно зависит от абсорбции аминокислоты валина из питательной среды. Вначале эта абсорбция незначительна, поскольку сначала поглощаются аминокислоты группы А (см. раздел 3.2.2.1), но примерно через 3 сут нормального брожения образуется максимальное количество 2-ацетолактата. Лишь после этого благодаря усиленному поглощению валина тормозится его биосинтез посредством ацетолактата и начинает преобладать расщепление. Если вследствие длительного внесения дрожжей (например, в больших танках, см. раздел 3.6.1.2) постоянно вносятся аминокислоты группы А, то поглощение валина продолжает тормозиться, и, как следствие, наблюдается усиленное образование 2-ацетолактата.

При повышенных температурах происходит более быстрое образование 2-ацетолактата, которое, однако, затем сменяется ускоренным его расщеплением. Аналогичное влияние оказывает и высокая норма внесения дрожжей. Применение при брожении повышенного давления (например, начиная со степени сбраживания 50 %), почти не приводит к снижению содержания 2-ацетолактата за тот же период времени. Интенсивная аэрация в начале брожения или в первые его сутки при традиционном процессе брожения не приводит к дефектам. Брожение с перемешиванием менее целесообразно в том случае, когда месильный орган захватывает воздух. Хорошее снабжение сусла α -аминным азотом и низкомолекулярными пептидами (около 22 % α -аминного или 34 % формольного азота) вызывает снижение образования 2-ацетолактата. При этом важен также штамм дрожжей.

Расщепление предшественника диацетила происходит при активном дображивании (например, при поддержке завитков пены) в течение нескольких недель. Если продолжать поддерживать предельную температуру брожения после достижения конечной степени сбраживания, то через 5-10 сут происходит снижение содержания 2-ацетолактата; а при увеличении температуры с 12 до 20 °С оно снижается уже через 2-4 сут (см. раздел 3.6.3.8), чему способствует низкое значение рН пива.

Максимальное содержание 2-ацетолактата при главном брожении зависит от вышеперечисленных факторов и составляет 0,6-1,8 мг/л, снижаясь до перекачки пива на дображивание до 0,3-0,6 мг/л. Прежде чем приступать к охлаждению, в фазе созревания необходимо выждать снижения содержания 2-ацетолактата до 0,10-0,12 мг/л.

2,3-Пентадион образуется из 2-ацетогидроксипутирата, представляющего собой промежуточный продукт синтеза изолейцина. Этот предшественник пентадиона характеризуется теми же параметрами, что и 2-ацетолактат.

Ацетоин содержится в пиве в количестве 0,5-5 мг/л. Он образуется при ферментативном восстановлении диацетила, но возможно и его образование иным путем, а именно из свободного ацетальдегида и его конденсации с «активированным» ацетальдегидом, связанным с тиаминпирофосфатом. Это соответствует тому факту, что при брожении содержание ацетоина достигает своего предельного содержания раньше 2-ацетолактата. Сильное аэрирование и повышенные температуры брожения способствуют увеличению содержания ацетоина, однако затем оно быстро уменьшается. При медленном дображивании в очень холодных

бродильных подвалах происходит вялое снижение содержания ацетона.

3.2.6.7. *Сернистые соединения* способны существенно влиять на аромат и вкус пива, так как обладают очень низкими пороговыми значениями восприятия. В пиве они присутствуют в виде сероводорода, диоксида серы, сульфидов (диметилсульфида, диметилдисульфида, диметилтрисульфида), спиртов (например, метианола), сложных эфиров (этилтиоацетата, метилтиоацетата, этилового эфира 3-метилтиопропионовой кислоты), а также в виде низкомолекулярных меркаптанов (этил- и метилмеркаптан). Общее содержание серы (представленное преимущественно пептидами с серосодержащими аминокислотами) снижается благодаря отделению осадка взвесей горячего и охлажденного суслу и осажению мути при главном брожении; серосодержащие аминокислоты, как и другие органические и неорганические источники серы, абсорбируются параллельно приросту биомассы дрожжей. Наконец, летучие сернистые соединения удаляются вместе с газами, выделяющимися при брожении.

На образование *сероводорода* при брожении влияют факторы, рассмотренные в разделе 3.2.4.2; при повышенном содержании сероводорода положительный эффект дают аэрирование суслу перед пластинчатым охладителем или реакция серы с металлами (например, с медью суслотарочных котлов). Поскольку сероводород летуч, в пиве остается лишь незначительное его количество — около 0,5 мкг/л, что ниже порога вкусового восприятия. На предприятиях, работающих только на солодовом сусле, поступление в сусло серосодержащих аминокислот и витаминов настолько велико,

что лишь в редких случаях наблюдается чрезмерное образование сероводорода, однако у пива из несоложенных материалов избыточное содержание сероводорода наблюдается чаще.

Диоксид серы вырабатывается в ходе главного брожения (см. раздел 3.2.4.1). Максимальное его содержание, достигаемое в конце брожения, незначительно снижается при дальнейшем созревании и хранении пива. Основными возможностями для снижения образования SO_2 в ходе брожения являются хорошее снабжение дрожжей питательными веществами, повышенное содержание липидов, интенсивная (при известных условиях многоступенчатая) аэрация, а также применение жизнеспособных дрожжей. Кроме того, на образование SO_2 большое влияние оказывает штамм дрожжей. Более плотное сусло характеризуется повышенным содержанием SO_2 ,

Содержание *диметилсульфида* (ДМС), обусловленное качеством солода, способом затиранья и кипячения суслу, составляет 70-150 мкг/л. Снижение содержания ДМС достигается применением среднерастворённого солода, высокой температуры и продолжительной сушки, отварочного способа затиранья, а также достаточно продолжительного и интенсивного кипячения суслу. Содержание метианола и его сложного эфира снижается на стадии от молодого до готового пива на 5-8 % от 700-900 мкг/л, то есть на 13-30 мкг/л. Чаще всего при пониженном содержании ДМС отмечается высокое содержание метианола и наоборот. Содержание тиоэфиров при форсированном брожении (в первую очередь при интенсивной аэрации в ходе внесения дрожжей) характеризуется более низкими значениями. Если содержание метилмеркаптана в ходе всего брожения

колеблется в пределах 1-1,4 мкг/л и лишь в конце брожения немного снижается, то этилмеркаптан при степени сбраживания около 55 % характеризуется максимальным содержанием 0,6-0,8 мкг/л, которое снижается примерно до 0,4 мкг/л. В ходе созревания пива указанные значения снижаются до 0,6-1,0 и 0,2-0,3 мкг/л соответственно. Тем не менее даже в относительно незначительной концентрации эти соединения способны придать пиву специфический сернисто-дрожжевой запах и привкус (см. раздел 7.4.3.1).

Серосодержащие соединения участвуют также в образовании так называемого «засвеченного» привкуса пива (см. раздел 7.6.5.4).

3.3. Дрожжи низового брожения

3.3.1. Выбор дрожжей

Выбор дрожжей должен производиться так же тщательно, как и выбор другого сырья — ячменя, солода, хмеля, а также учитывать свойства пивоваренной воды, поскольку скорость и степень сбраживания, кислотообразующая способность, различия в образовании побочных продуктов брожения, а также выделение дрожжами белков, горьких и дубильных веществ влияют на цвет, пену, полноту и округлость вкуса и горечь пива.

Применяемые дрожжи должны быть безупречными в биологическом отношении, то есть не содержать микроорганизмов, вызывающих порчу пива. Доля мертвых дрожжевых клеток не должна превышать 5 %; при превышении этой величины можно сделать вывод о плохом физиологическом состоянии дрожжей, портится вкус пива и требуется изменение

дозирования дрожжей по объему. Механические загрязнения (осажденные белковые вещества и хмелевые смолы) способствуют снижению активности дрожжей и «замазывают» клеточные мембраны, затрудняя тем самым массообмен; кроме того, они могут, как и мертвые клетки, служить питательной средой для вредных микроорганизмов.

Дрожжи должны обладать соответствующими бродительными свойствами. Лишь способные к брожению дрожжи обеспечивают безупречный ход брожения с благоприятными кислотообразованием и размножением. Кроме того, дрожжи должны обладать определенной сопротивляемостью к действию чужеродных микроорганизмов. Дополнительными показателями при выборе дрожжей могут служить удовлетворительная картина брожения, своевременное образование взвесей горячего сусла и соответствующее осветление молодого пива, но они нуждаются в подтверждении органолептическим анализом пива, приготовленного с использованием тех или иных дрожжей. Нередко бывает целесообразным параллельное разведение нескольких дрожжевых штаммов и смешивание полученного из них пива при его перекачке на дображивание.

На производстве дрожжи вносят или в форме чистой культуры, или приобретают готовые пивоваренные у надежного поставщика.

3.3.2. Разведение чистой культуры пивных дрожжей

3.3.2.1. Закладка чистой культуры начинается с одной единственной дрожжевой клетки в форме капельной культуры или чашечным методом. Для изоляции

одной клетки используют микроманипулятор. Из выбранной культуры дрожжей всегда целесообразно изолировать большее количество клеток и отобрать из них лучшие, что гарантирует разведение дрожжей с желаемыми свойствами. Основанием для выбора дрожжей является контроль их размножения, скорости и степени сбраживания, их осветление и, наконец, вкус пробы сусла, сброженного при пониженных температурах.

3.3.2.2. Разведение чистой культуры дрожжей на производстве осуществляется путем открытого разведения или путем закрытого выращивания. При открытом разведении чистая культура дрожжей, взятая, например, со среза культуры на агаре, засеивается в 200 мл стерильного сусла (горячее охмеленное сусло, охлажденное до температуры около 12 °С) и доводится при комнатной температуре до стадии завитков, после чего сусло добавляется до 800 мл; в стадии высоких завитков вновь добавляют сусло до 5 л. После переноса в колбу Ганзена через 24 ч получается 25 л, которые добавляют в цилиндрический или цилиндрикоконический танк для размножения чистой культуры дрожжей (примерно к 25 гл сусла). При этом сусло перекачивают с использованием трубки Вентури при постоянной аэрации или проводят эту операцию периодически, а в промежутках сусло аэрируют с помощью аэрирующего месильного органа. В зависимости от засеянного количества клеток при температуре 13 °С через примерно 70 ч количество дрожжевых клеток возрастет примерно до 150 х 10⁶. Степень сбраживания при этом составляет около 40-50 %. Отобранные 20-22 гл в стадии завитков затем вносят в 400-500 гл сусла с температурой 10-11 °С, причем опять-таки

для получения степени сбраживания 40% требуется аэрация (через каждые 5 мин сначала в течение 60 с, а затем в течение 30 с). В этом танке количество дрожжевых клеток составляет около 100 млн, и их вносят в бродильный танк емкостью около 2000 гл сусла.

В танке емкостью 25 гл для разведения чистой культуры дрожжей остается примерно 2,5 гл завитков, в которые снова добавляют сусло и в более коротком цикле (36 ч) доводят количество клеток до 150-180 х 10⁶. Этот процесс повторяют несколько раз. Сусло, предназначенное для этой операции, стерилизации не требует — важно, чтобы отбор в стадии завитков и повторное внесение семенных дрожжей проходили при степени сбраживания не более 45 %.

Непрерывное размножение чистой культуры дрожжей в стерильных условиях с использованием стерильного сусла позволяет осуществлять *аппарат для выращивания чистой культуры дрожжей*. Небольшое количество дрожжей, оставшееся в пропагаторе после брожения, служит для внесения дрожжей в следующую партию стерильного сусла. В течение 10-14 сут в зависимости от размера аппарата можно получить такое количество дрожжей, которое затем используется для дальнейшего размножения на производстве. Аппарат для выращивания чистой культуры дрожжей состоит из закрытого стерилизатора сусла и нескольких емкостей для размножения дрожжей. В стерилизаторе горячее охмеленное сусло еще раз стерилизуется, а затем охлаждается. После этого для первого засева оно подается отфильтрованным стерильным воздухом в емкость для размножения дрожжей, простерилизованную с помощью пара и охлажденную стерильным воздухом, в которой

происходит засев чистой культурой дрожжей. После первого разведения к оставшемуся молодому пиву доливают только стерильное сусло (целесообразнее отобрать 20 гл исходного материала в стадии завитков и разбавить их примерно 100 гл сусла, обеспечив с помощью периодической аэрации соответствующее интенсивное размножение (до 100-120 млн дрожжевых клеток). Если процесс выращивания дрожжей продолжается слишком долго, то описанный выше способ разведения чистой культуры дрожжей является довольно рискованным (не говоря уже о недостаточной стерильности). Длительные анаэробные условия существования дрожжей, контакт с металлом, высокие температуры (порядка 12 °С) могут вызвать дегенерацию дрожжей, в связи с чем дрожжи необходимо менять не реже 1 раза в 3 мес.

3.3.3. Дегенерация дрожжей

О вырождении или дегенерации дрожжей говорят тогда, когда в дрожжах наблюдается негативное изменение их свойств. Признаками вырождения дрожжей являются вялое брожение, неудовлетворительный ход брожения, низкая степень сбраживания, замедленное, быстро прекращающееся дображивание, слишком низкое кислотообразование, небольшой выход дрожжей, образование ими студнеобразной массы и изменение хлопьеобразующих свойств. В большинстве случаев пиво, приготовленное с помощью таких дрожжей, обладает неприятным дрожжевым запахом и вкусом, а содержание диацетила в нем может быть повышенным или недостаточно снижаться при дображивании. Уже к концу брожения (самое позднее — при созревании) дрожжи выделяют щелочные аминокислоты,

повышающие значение рН молодого пива; происходит также выделение среднемолекулярных жирных кислот, которые при этерификации придают пиву дрожжевой привкус и ухудшают свойства пены. Последнее явление связано с выделением дрожжами протеаз, способных расщеплять белковые фракции, стимулирующие ценообразование. Хотя активность дрожжей благодаря их повторному доливу в стадии завитков можно несколько восстановить, рекомендуется, тем не менее, производить замену дрожжей по возможности быстро.

В связи с дегенерацией дрожжей даже в биологически безукоризненных условиях рекомендуется проводить смену дрожжей через 8-10 циклов их внесения. Дрожжи заменяют новой партией из аппарата для выращивания чистой культуры дрожжей, дрожжами, полученными путем открытого разведения или приобретенными на другом предприятии. Дегенерации дрожжей способствует целый ряд факторов — например, ненадлежащая обработка дрожжей, ошибки при внесении дрожжей или проведении брожения, а также неприемлемый состав и концентрация сусла.

Для дрожжей вредно слишком долгое пребывание дрожжевого осадка под давлением или при повышенных температурах, то есть слишком позднее их снятие, хранение в атмосфере CO₂, продолжительное хранение (более одной недели) при температуре более 4 °С. Следствием неудовлетворительной аэрации при внесении дрожжей является недостаточное их размножение и ускоренное старение.

Высокие температуры брожения, как и слишком быстрое охлаждение дображиваемого пива, обуславливают быстрое «кисотошение» дрожжей. Продолжительное

хранение дрожжей при повышенных температурах негативно сказывается на их свойствах. Слабо или неравномерно растворенный солод, способ затирания (недостаточное расщепление белков и крахмала), а также свойства пивоваренной воды (высокая остаточная щелочность, избыточная известковость при умягчении, высокое содержание нитратов), ошибки при кипячении сусла, при отделении осадка взвесей горячего сусла и в снабжении сусла кислородом также отрицательно сказываются на составе сусла. Дегенерацию дрожжей может стимулировать недостаток цинка в сусле (содержание менее 0,12-0,15 мг/л). Другие металлы, в частности железо и медь, токсичны для дрожжей. В очень жидком или очень концентрированном сусле образуются неблагоприятные условия для питания дрожжей и хода брожения, а содержание спирта более 5 % об. ингибирует жизнедеятельность дрожжей. Кроме того, для дрожжей токсичны некоторые продукты метаболизма других микроорганизмов.

3.3.4. Снятие дрожжей

В конце главного брожения дрожжи низового брожения постепенно оседают на дне бродильного чана. У хлопьевидных дрожжей отстой, в большинстве случаев, плотный, а у пылевидных — рыхлый. В осадке хлопьевидных дрожжей различают три слоя:

- *верхний слой осадочных дрожжей* — самый верхний, последний слой осевших дрожжей, в котором хотя и присутствуют активно бродящие клетки, но имеется и много примесей (хмелевые смолы, соединения дубильных веществ и коагулированные белки);
- *семенные дрожжи* — их, как правило, получают в виде маточных дрожжей; в них

содержатся те дрожжевые клетки, с помощью которых осуществлялось главное брожение и которые затем выпали в осадок; эти дрожжи наиболее чисты в биологическом отношении и содержат меньше всего загрязнений;

- *нижний слой осадочных дрожжей* — самый нижний слой осевших дрожжей, в котором содержатся осадок взвесей и мертвые дрожжевые клетки; в нем также присутствуют активные дрожжевые клетки с большой удельной массой, выпавшие в осадок в начале брожения.

При снятии задаточных дрожжей для дальнейшего их внесения верхний слой осадочных дрожжей осторожно отделяют от слоя семенных дрожжей. Затем эти дрожжи извлекают и в конце удаляют нижний слой осадочных дрожжей. Такого рода отделение с увеличением размеров бродильных чанов все более затрудняется, а в горизонтальных бродильных танках оно вообще невозможно. В то же время цилиндрикоконические танки (ЦКТ) позволяют осуществлять точное удаление нижнего слоя осадочных дрожжей (например, путем заблаговременного «резкого слива» этих загрязнений). В чане для внесения дрожжей (емкость для седиментации взвесей охлажденного сусла, флотационный танк) все равно остаются частички взвесей и мертвые дрожжевые клетки, что хотя и позволяет получить чистую культуру дрожжей, но при этом уже невозможно отделить верхний слой осадочных дрожжей от семенных. Механические загрязнения удаляют путем процеживания, а также методами отстаивания или флотации дрожжей.

Пылевидные дрожжи зачастую в бродильном отделении вообще не осаждаются или осаждаются неудовлетворительно. Для получения достаточного

количества задаточных дрожжей пылевидные дрожжи прежде зачастую собирали в промежуточные танки (см. раздел 3.6.2.1). В настоящее время для снятия дрожжей и для точного регулирования количества дрожжевых клеток для последующего дображивания применяют центрифуги для молодого пива.

Так как выход дрожжей в 3-4 раза превышает первоначальный объем, то, как правило, появляется избыток дрожжей, позволяющий после 5-8 циклов выводить дрожжи из производства. Избыточные дрожжи отделяют от пива при помощи прессов, центрифуг, декантеров или с использованием новых технологий фильтрования (см. раздел 4.4).

3.3.5. Очистка дрожжей

3.3.5.1. Большую часть загрязнений можно удалить путем фильтрования (лучше всего с помощью вибростол с ситами из нержавеющей стали со средним размером отверстий 0,4-0,5 мм). Если дрожжи необходимо сразу же заново вносить (технология «из бидона в бидон»), то при их получении рекомендуется оставлять немного больше пива, сохраняя консистенцию, пригодную для перекачивания насосом и процеживания. Если до следующего внесения дрожжи оставляют на 1-2 сут, их можно держать «под пивом»; при более длительном сроке хранения дрожжи следует промыть.

3.3.5.2. *Промывка дрожжей* способствует удалению механических загрязнений, мертвых дрожжевых клеток и сохранившихся бактерий. Для промывки чаще всего используют охлажденную (до 4-5 °С), биологически стерильную воду жесткостью 8-10 нем. градусов жесткости. Очень жесткая вода оказывает на

дрожжи неблагоприятное физиологическое действие, как и ионы нитратов, тогда как слабое хлорирование воды (0,5 г/м³) относительно безвредно.

Промывка дрожжей может проводиться:

- в чане для хранения дрожжей путем простого смешивания с холодной водой, периодически сливаемой после осаждения дрожжей и заменяемой свежей водой;
- в чанах для очистки дрожжей отмучиванием с нижним подводом воды, где удаление загрязнений происходит благодаря переливу воды; размещение сливов на различной высоте позволяет спускать воду с загрязнениями послойно вплоть до поверхности осевших дрожжей, которые перекачивают затем в чаны для хранения дрожжей;
- в воронках для очистки дрожжей отмучиванием, где дрожжи завихряются поступающей снизу водой (расширяющаяся сверху воронка обуславливает снижение скорости воды, так что дрожжи захватываются только до определенной высоты их слоя); очистка заканчивается через час, и после оседания дрожжей проводится их отделение от использованной для очистки воды (дрожжи выдавливаются из нижней части воронки давлением находящейся над ними воды);
- с помощью колец для очистки дрожжей отмучиванием, которые помещают в чаны для хранения дрожжей.

Промывка кислотой используется для очистки инфицированных дрожжей. На каждый литр густых дрожжей следует добавить такое количество 3 %-ной фосфорной кислоты, чтобы получить значение pH 2,0. Через 4-6 ч (целесообразна перекачка дрожжей насосом) кислота из дрожжей вымывается с помощью

упомянутых выше воронок для очистки дрожжей отмучиванием или цилиндрико-конических танков. Промывка кислотой сильнее ослабляет дрожжи низового брожения, чем верхового, и в этом случае норму внесения дрожжей (по количеству клеток) следует увеличить.

В заключение необходимо отметить, что при условии хорошего осветления сусла и надлежащей технологии внесения дрожжей их очистка требуется несколько в меньшей степени, чем прежде, и дрожжевые сита из-за трудностей их включения в цикл очистки применяются все реже. Тем не менее при снятии дрожжей из ЦКТ очистке дрожжей уделяется большое внимание, в частности, для их восстановления. При извлечении дрожжей из бродильных чанов, горизонтальных бродильных емкостей или танков с плоскоконическим днищем дрожжи бывают настолько загрязнены, что их очистка по-прежнему очень важна.

3.3.5.3. Удаление углекислого газа из заливных дрожжей важно, прежде всего, при использовании ЦКТб. Так как дрожжи извлекают из конусной части, на них действует давлением. Хранение дрожжей под давлением CO_2 (возможно, вследствие недостаточной вместимости емкости для дрожжей) ухудшает жизнеспособность дрожжей и скорость брожения со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для свойств пива. Наиболее целесообразным приемом является снятие давления с помощью дрожжевого сита; при этом удаляется и большая часть CO_2 . При снятии дрожжей в закрытой системе рекомендуется применять танк для регенерации дрожжей с устройством для их перекачивания и аэрирующей форсункой (трубкой Вентури).

При перекачивании потоки дрожжей и воздуха можно направить таким образом, чтобы избежать сильного вспенивания дрожжей (при этом необходимо предусмотреть 100-150 % свободного пространства на подъем). Сусло, аэрированное таким способом, необходимо использовать для внесения дрожжей в течение последующих 24 ч.

3.3.6. Хранение дрожжей

На небольших предприятиях хранение дрожжей осуществляют в чанах для хранения дрожжей или дрожжерастильных чанах, устанавливаемых в отдельном охлаждаемом помещении (отделении для хранения чистой культуры дрожжей). При обычном интервале между снятием и повторным внесением в 2-3 сут дрожжи рекомендуется хранить в охлаждаемых чанах для хранения дрожжей при температуре 0-2 °С. При объеме до 6 гл такие чаны оснащены рубашкой и могут опрокидываться; изготавливают их преимущественно из нержавеющей стали, реже — из алюминия, луженой меди или эмалированной стали. Более крупные емкости представляют собой чаны с системой охлаждения, выполненной в виде карманов достаточного размера; днище в чанах имеет уклон 10 %.

Для хранения дрожжей из бродильных танков и для автоматического их дозирования используют дрожжевые танки, которые представляют собой емкости из нержавеющей стали с коническим днищем (угол наклона стенок — 60°), оборудованные охлаждающими карманами, месильными органами и системой мойки. Измерение количества дрожжей осуществлялось прежде по измерительной планке, а в настоящее время с помощью датчиков объема. Во избежание

коррозии следует учитывать содержание хлора в охлаждающей воде. Размер такой емкости выбирают под количество дрожжей, собираемых из бродильного чана — для бродильного чана вместимостью 300 гл необходим чан для хранения дрожжей с полезным объемом 12 гл. В ЦКТб при снятии давления с дрожжей в результате выделения углекислого газа происходит увеличение их объема, в связи с чем необходимо предусматривать дополнительное пространство (50-100 %) в зависимости от высоты ЦКТб. Общая вместимость всех чанов для хранения дрожжей должна соответствовать потребности в дрожжах в течение примерно 2 сут.

Слишком длительное хранение дрожжей под водой даже при низких температурах (0-2 °С) и приемлемом качестве воды не рекомендуется. В течение этого времени дрожжи утилизируют запасы гликогена и выделяют в воду азотистые вещества, в результате чего дрожжи ослабевают и повреждаются. Снижение бродильной способности дрожжей проявляется, в первую очередь, в длительности забраживания (индукционная фаза). Хранение дрожжей под водой не должно длиться более 4-5 сут.

Кратковременное хранение дрожжей в течение 1-2 сут может осуществляться и в пиве, готовом к перекачке — это позволяет снизить потери пива при загущении дрожжей. Например, в случае двухнедельного перерыва целесообразно поместить дрожжи в сусло температурой 2 °С и оставить их там для медленного брожения. Еще одна возможность заключается в том, что дрожжи после тщательной промывки сильно отпрессовывают, помещают в металлические банки и хранят при температуре ниже 0 °С. Тем не менее наилучшим

решением является внесение в несколько варок немного меньшего количества дрожжей и проведение брожения при более холодных температурах с расчетом получить пиво, готовое для перекачки на дображивание, через 10-14 сут. В этом случае дрожжи собирают, дегазируют, аэрируют и используют для внесения в партии после перерыва в варках. Увеличение продолжительности варок в стадии завитков и внесение семенных дрожжей доливом способствуют быстрому и сильному размножению дрожжей.

Перед повторным внесением дрожжей считается целесообразным интенсивно проаэрировать в течение 30-60 мин соответствующее количество дрожжей в дрожжевом танке при помощи указанного выше оборудования. Быстрому началу брожения содействует предварительное разбавление дрожжей суслом в отношении 1: 1 при интенсивном аэрировании.

3.3.7. Отгрузка дрожжей

На отгрузку *сухие прессованные дрожжи* (около 20 % СВ) поступают в охлаждаемых контейнерах. Если контейнеры выполнены из полистирола, то дрожжи, завернутые в полимерную пленку и помещенные в металлические банки, благодаря охлаждению (например, с помощью пластиковых бутылок со льдом) можно хранить примерно в течение 1 нед. при температуре ниже 4 °С. Для длительной транспортировки без охлаждения дрожжи можно лиофилизировать, то есть высушить в замороженном состоянии, однако после такой обработки жизнеспособность сохраняет лишь незначительная часть дрожжевых клеток (около 10 %).

3.3.8. Определение жизнеспособности дрожжей

При длительном хранении дрожжей, а также при интенсивном способе проведения брожения большое значение имеет определение *жизнеспособности дрожжей*. Его можно проводить или с использованием известных методов окрашивания с помощью 0,01 % водного раствора метиленового синего (мертвые клетки окрашиваются в синий цвет) и/или при помощи флуоресцентной микроскопии и акридинового желтого (живые клетки при этом светятся зеленым цветом, а мертвые окрашиваются в красный или оранжевый цвет). По активности брожения можно проверить физиологическое состояние дрожжей и по нему рассчитать норму их внесения. В аппарате для определения жизнеспособности дрожжей 200 г задточных дрожжей смешивают с 700 г суслу температурой 20 °С, гомогенизируют с помощью ультразвука и через 30 мин измеряют установившееся давление (например, 200 мбар). Это давление и является показателем жизнеспособности дрожжей.

3.4. Низовое брожение

Низовое брожение проходит в два этапа:

- главное брожение осуществляется в открытых или закрытых бродительных чанах, горизонтальных или вертикальных бродительных танках при температуре от 5 до 10 °С и продолжается 6-10 сут (ускоренные способы при температуре от 12 до 20 °С при особых условиях позволяют сократить продолжительность брожения);
- *дображивание* в танках (реже в бочках) продолжается при температурах от -2 до

+3 °С в течение 2-16 нед. в зависимости от технологии и типа пива (на этой стадии также применяются ускоренные методы созревания).

3.4.1. Бродительные отделения

Брожение протекает в *бродительных цехах* или *отделениях*. Расположение их рядом с установкой охлаждения суслу, с одной стороны, и у лагерного подвала с другой, определяется в настоящее время больше технологическими и производственными требованиями, чем биологическими. Если изначально бродительный цех располагали под установкой охлаждения суслу, то в настоящее время его иногда располагают даже в другом здании, так как установка охлаждения суслу часто находится вблизи варочного отделения. С учетом современного уровня мойки и дезинфекции такая компоновка вполне приемлема.

В большинстве своем наземные цехи брожения изолированы с температурой в них на уровне 5-7 °С (подземные помещения для брожения также нуждаются в изоляции). Требования к оборудованию бродительного цеха зависят от типа *бродительного чана*.

3.4.1.1. В бродительных цехах с открытыми бродительными чанами потолки должны быть ровными, а стены без швов. Целесообразно использовать моющееся и газопроницаемое покрытие с бактерицидным действием. В большинстве случаев стены облицовывают керамическими панелями (стеклянные и пластиковые панели менее удобны). Полы бродительного отделения также должны быть ровными, не иметь швов и легко мыться. Остатки пива оказывают на бетон отрицательное действие, поскольку в нем могут образоваться трещины и его трудно ремонтировать.

Специальные виды напольных покрытий на базе строительных смесей могут применяться только в том случае, если они правильно уложены и не подвергаются агрессивному действию пива и моющих средств. Керамические панели должны быть кислотостойкими, а швы между ними — расшитыми. Стыки пола со стенами следует выполнять в виде желоба. Поддержанию чистоты в броидильном отделении позволяют обеспечение холодной и горячей водой, сток воды благодаря уклону в 1-2 %, а также сборники стекающей воды с сифонным затвором.

Особое значение при использовании открытых броидильных чанов имеют охлаждение и вентиляция. Воздух в броидильном отделении должен быть всегда холодным, чистым и сухим, поскольку пиво легко поглощает нежелательные ароматические и вкусовые вещества из воздуха, не говоря уже о возможности микробиологической контаминации. Броидильные чеха, как и лагерные подвалы, прежде охлаждали естественным льдом, а движение воздуха осуществлялось путем естественной его конвекции.

Искусственное охлаждение осуществляют путем *косвенного охлаждения* или охлаждения циркулирующим воздухом. При косвенном охлаждении сильно охлажденный рассол или непосредственно испаряющийся хладагент проходит по системам трубопроводов, смонтированным на потолке или стенах. При этом происходит вертикальная циркуляция воздуха, а благодаря образованию инея на трубах воздух немного осушается. При оттаивании капли конденсата должны отводиться в специальный лоток. В крупных броидильных подвалах подобного охлаждения недостаточно, а наличие открытых обмурованных броидильных чанов делает необходимым принудительную

циркуляцию воздуха. Кроме того, воздух в броидильном подвале необходимо регенерировать. При *охлаждении циркулирующим воздухом* в броидильный подвал поступает воздух, осушаемый и охлаждаемый в специальном воздухоохладителе. Такие пластинчатые воздухоохладители обычно монтируют в торцах проходов для обслуживания. Воздух засасывается вентилятором охладителя (как правило, снизу) и нагнетается в пространство над броидильными чанами. Применявшиеся раньше холодильные камеры, устанавливавшиеся вне броидильного подвала, иногда приводят к микробиологическим проблемам. Чем чаще воздух проходит через систему охлаждения, тем более интенсивно осуществляется его охлаждение и подсушивание. Так как циркулирующий воздух насыщается CO_2 , необходимо постоянно или периодически (например, при открывании дверей броидильного подвала) производить замену части воздуха броидильного подвала свежим. Вытяжной вентилятор размещают вблизи пола прохода для обслуживания. Согласно инструкции по безопасности труда максимальная концентрация CO_2 на рабочем месте не должна превышать 0,5 %, а его содержание в воздухе в 3 % уже может вызвать затруднения при дыхании.

Подвод воздуха в броидильном подвале может осуществляться различным образом и в разном направлении. Если воздух подается *снизу вверх*, то каналами для подвода воздуха служат пространства под цоколем броидильных чанов. В этом случае воздух с относительно большой скоростью проходит над полом, а затем направляется назад к воздухоохладителю через свободное пространство над чанами. Вследствие увеличения пространства скорость воздуха над чанами снижается. Движение воздуха практически не

оказывает влияния на поверхность бро- дящего сула (на завитки). При подводе воздуха сверху вниз сначала происходит подсушивание потолка бродильного подвала; воздух, насыщенный диоксидом углерода, перемещается из пространства над цоколем, что позволяет улучшить эффективность вентиляции. По сравнению с первым типом вентиляции в этом случае снижается риск контаминации микроорганизмами. При поступлении воздуха по всей ширине помещения не только обеспечивается более равномерная вентиляция — небольшая скорость движения воздуха препятствует также нарушению хода брожения. В случае *поперечной вентиляции* в большинстве случаев для подачи и отведения воздуха над чанами требуется прокладка специальных воздушных каналов. Нагрузка на потолок бродильного подвала должна распределяться равномерно, и при правильном расположении каналов можно не опасаться повреждения сбраживаемого сула.

Выделяемый при брожении *диоксид углерода* часто дополнительно отводят с помощью отдельного вентилятора, монтируемого на высоте пола (в первую очередь это относится к косвенному или периодическому охлаждению). Вентилятор следует приводить в действие перед входом в бродильный подвал или до включения системы охлаждения циркулирующим воздухом.

Очистка свежего воздуха или всей массы воздуха, циркулирующего в бродильном подвале, осуществляется с помощью воздушных фильтров — ленточных или модульных. Они состоят из фильтрующих элементов с кольцами Рашига, проходящих через ванну с дезинфицирующим маслом.

Охлаждение рециркуляционным воздухом предполагав 6-10-кратный оборот

воздуха в час. Скорость воздуха в собственно бродильном отделении не должна превышать 0,1-0,2 м/с. Потребность в холоде у открытых бродильных чанах составляет 4000-5000 кДж (1000-1200ккал)/м² поверхности сула в сутки.

Высота бродильных подвалов с открытыми чанами в зависимости от размеров помещения составляет от 4,5 до 5,5 м. Высота расстояния под цоколем должна составлять 1,9-2,0 м, а над ним — 2,5-3,5 м.

3.4.1.2. В бродильных подвалах с закрытыми чанами подвод воздуха имеет меньшее значение, чем для открытых чанов, однако и здесь скорость воздуха не должна быть слишком высокой, поскольку в большинстве случаев чаны открывают за 1-2 сут до перекачки пива на дображивание.

В случае использования танков брожения циркуляция воздуха осуществляется охладителями воздуха в помещении. Если горизонтальные танки отделены от прохода для обслуживания стенкой, то воздух можно подавать с высокой скоростью (без вреда для персонала). В проходе для обслуживания также осуществляется охлаждение воздуха — если не для удаления СО₂, то для кондиционирования воздуха и осушения помещения.

ЦКТб размещают в помещениях соответствующей высоты хорошо изолированных и имеющих простую конструкцию. Существует две возможности компоновки:

- неизолированные танки, через охлаждающие карманы которых осуществляется соответствующее кондиционирование воздуха помещения;
- изолированные танки, воздухоохладитель которых поддерживает температуру 7-10 °С в окружающем пространстве.

Такая компоновка встречается в первую очередь в тех случаях, когда в бро-дильном подвале ведется и созревание пива (возможно, при несколько более высокой температуре).

При установке танков вне здания в изолированное помещение для обслуживания выводится только нижняя их часть. Конструкция потолка, степ, пола, а также система кондиционирования воздуха в помещении для обслуживания аналогична вышеупомянутым.

3.4.2. Бродильные чаны

Бродильные чаны могут быть открытыми или закрытыми. В большинстве случаев внутри они бывают прямоугольными, редко — цилиндрическими или овальными. В настоящее время практически повсеместно используют бродильные чаны горизонтальной («комбитанки») и вертикальной конструкции с плоской или конусной нижней частью (угол наклона стенок — 60°).

3.4.2.1. Вместимость бродильных чанов — от 10 до 1000 гл. Их размер ограничивается возможностями материала, а также охлаждения и обслуживания. Вместимость деревянных чанов доходит до 150 гл, а эмалированных стальных, монтируемых всегда как единое целое, — до 500 гл; у чанов из алюминия и нержавеющей стали, облицованных стальных или бетонных чанов ограничений по размерам нет. Базовым параметром для определения размера чана является суточная производительность. Целесообразно иметь вместимость, достаточную для одной варки, однако в зависимости от производственных условий находят применение и чаны на 2-3 варки. Высота пространства для завитков при низовом

брожении составляет около 10 %. Высота чанов в расчете на хорошее осаждение дрожжей и удовлетворительное осветление не должна превышать 2-2,5 м. С увеличением вместимости чанов возрастает масса и давление жидкости. Цилиндрические металлические чаны размером до 200 гл могут устанавливаться без обмуровки. Если обеспечена жесткость стенок (например, за счет элементов охлаждения), то возможно применение более крупных элементов. Прямоугольные чаны, при использовании которых возрастает степень использования помещения, нуждаются в обмуровке из армированного бетона (по соображениям статике, экономии материала и равномерности температурного режима). При этом одновременно сооружают площадки для обслуживания. Крупные чаны в изготовлении и эксплуатации экономичнее небольших из-за сокращения потерь пива и упрощения мойки. Для обеспечения удобства обслуживания чаны монтируют на высоте 60-100 см над уровнем пола, а для облегчения полного опорожнения их устанавливают с уклоном около 5 %.

3.4.2.2. Материал, из которого изготавливаются бродильные чаны, не должен оказывать негативного действия на ход брожения и влиять на вкус пива. Он должен быть бесшовным, ровным и легко мыться и дезинфицироваться. Помимо соображений монтажа, веса, долговечности и формы немаловажную роль играет и стоимость материала.

Древесина (прежде применялась в основном дубовая) в настоящее время встречается очень редко. Из-за пористости она нуждалась в гладком внутреннем покрытии (парафинового или в большинстве случаев лакового). Лак наносили в виде спиртового раствора в три слоя

после предварительного удаления старого лака механическим способом (удаление лака химическими средствами, в частности каустиком, портило древесину). Срок службы древесины был ограничен, пространство помещения использовалось недостаточно, был затруднен уход и ремонт чана вне бродильного цеха. Кроме того, определенную трудность представляло обеспечение микробиологической безопасности таких чанов.

Металл хотя и нейтрален относительно сусла, разрушается под действием кислотности пива. Дубильные вещества пива образуют железосодержащие соединения, изменяющие цвет пива, его пенообразующие и вкусо-ароматические свойства. Металл ухудшает также свойства дрожжей. Именно поэтому металлические бродильные чаны должны предусматривать внутреннее покрытие или облицовку лакокрасочными покрытиями, стекломалью или синтетическими смолами. В качестве *покрытий* применяются композиции из лака или смол, а также парафин, которые можно наносить и подновлять непосредственно в бродильном цехе. Горячее покрытие наносят на хорошо очищенную и предварительно подогретую стенку чана. При этом могут образовываться пары растворителя (необходимо соблюдать правила техники безопасности), которые при неудовлетворительном затвердевании покрытия способны негативно повлиять на пиво. При использовании покрытий необходимо проводить регулярные текущие осмотры и подновлять их в случае необходимости.

В значительной степени соответствует предъявляемым требованиям *стекломаль* — она нейтральна, не имеет запаха и вкуса, ее легко поддерживать в чистоте. Наносят стекломаль в виде грунтовой

и покровной эмали на поверхность, очищенную пескоструйным методом, и вжигают в листовую сталь при температуре 1200 °С. Такая облицовка возможна только на заводе-изготовителе. Размер чанов в этом случае ограничен возможностями транспортировки и монтажа и составляет 400-500 гл. Так как днище и стенки чана из-за статических нагрузок имеют несколько выпуклую форму, то на днище эмаль должна быть более шероховатой, что позволяет добиться хорошего осаждения дрожжей. Эмаль чувствительна к механическим повреждениям — при неправильном ее нанесении могут появиться микротрещины, в которых накапливается инфицирующая микрофлора. Повреждения устраняют с помощью холодной эмали.

Синтетические смолы также вжигают в несколько слоев, а с недавнего времени их наносят на поверхность чана, подвергнутую пескоструйной обработке, холодным способом. Подобные смолы эластичны и по сравнению с эмалями характеризуются большей стойкостью. Они легко подновляются и подходят также для облицовки алюминиевых чанов и танков с признаками коррозии (при этом требуется соответствующая обработка поверхности).

Алюминий получают электролитическим способом почти в чистом виде (99,5 %). Для алюминиевых чанов не требуется внутренней облицовки, так как пиво их не разъедает, алюминий не оказывает влияния на вкус и цвет пива, а также безвреден для дрожжей. Алюминий, покрывающийся на воздухе тонкой оксидной пленкой, имеет светлый цвет и поэтому его легче поддерживать в чистом состоянии. Он чувствителен к действию щелочей и некоторых кислот и разрушается ртутью, в связи с чем следует

пользоваться спиртовыми термометрами. Пивной камень, отлагающийся в большом количестве, можно удалять 15 %-ной азотной кислотой или специальным средством для удаления пивного камня.

Для придания жесткости алюминиевым чанам, изготовленным из листов толщиной 3-4 мм, необходима обмуровка (в большинстве случаев ее выполняют железобетоном). В этом случае алюминий играет роль облицовочного материала. Цемент или бетон оказывают на него разрушающее действие, и поэтому алюминий следует защитить изолирующим слоем из асфальта и битума. Кромка чана должна быть отогнута над обмуровкой так, чтобы в пространство между стенкой чана и материалом, придающим жесткость, или изоляцией не могли проникать конденсат и брызги воды. Для облегчения обработки чанов боковые стенки часто делают более высокими. Поплавки или арматура должны изготавливаться из того же материала, или иметь изоляцию, препятствующую коррозии, которую может вызывать и конденсат с медных поплавок. Целесообразным представляется нанесение в зоне граничного слоя воды и воздуха лакокрасочного покрытия на полавки чанов и кромки. Так как такие чаны монтируются непосредственно на пивоваренном предприятии, их размер не ограничивается используемым материалом. Срок службы алюминиевых чанов составляет около 50 лет.

Нержавеющая сталь (обычно применяется сталь V2A (18 % хрома и 8-9 % никеля) является кислотостойкой и абсолютно нейтральной к пиву. Толщина стенки (0,8-2 мм) предполагает использование обмуровки (подобно алюминиевым чанам), а также монтаж на предприятии, что позволяет выполнять чаны любого размера. Особое внимание следует

уделять сварным швам, чтобы их структура затем не привела к коррозии. Нержавеющую сталь следует изолировать от других металлов. Применение медных поплавок для охлаждения пива является нецелесообразным — медь может переходить в раствор и негативно влиять на дрожжи. В случае надлежащего выполнения сварочных работ срок службы нержавеющей стали практически неограничен.

В качестве материала для бродильных чанов может применяться и *железобетон*. Такие чаны могут быть выполнены любых размеров и формы в зависимости от возможностей помещений. Как правило, их делают преимущественно прямоугольными со скругленными углами. Срок службы таких чанов практически неограничен, они характеризуются высокой прочностью. Вместе с тем для них необходимы достаточно прочные фундаменты, предотвращающие образование трещин. Так как бетон подвергается агрессивному действию пива, то такие чаны нуждаются во внутренней облицовке. Перед ее выполнением необходимо нанести специальную штукатурку, служащую адгезионной основой для облицовочной массы, наносимой в несколько слоев. Иногда укладывают эбонитовые панели размером до 6 м² и расширяют швы такой же массой. Наряду с этими композициями с черной блестящей поверхностью хорошо зарекомендовали себя и синтетические материалы. При очистке 10 %-ной серной кислотой одновременно удаляется и пивной камень. Естественно, такая облицовка чувствительна к ударам, однако ее легко восстановить.

3.4.2.3. Закрытые бродильные чаны чаще всего изготавливают из алюминия. Как правило, крышки жестко соединены

с чаном, их редко выполняют подъемными или опускаемыми. Помимо арматуры для отведения CO_2 на чанах устанавливают термометры, краны для отбора проб и смотровые окна из специального стекла. Чаще всего размеры закрытых бродительных чанов составляют 400-800 мм, что позволяет снимать деку.

3.4.2.4. В бродительных танках горизонтальной формы требуется дополнительное свободное пространство на подъем пены (порядка 25 %). В большинстве такие чаны изготавливают из нержавеющей стали, реже — из алюминия или стали с облицовкой. Поперечное сечение составляет 2-4 м, причем очевидно, что оптимальным для опадания деки является значение от 2,50 до 3,50 м. Оптимальная длина — 7-10 м (отношение ширины к длине — 1:3); при большей длине (например, 15 м) и соотношении Ш : Д 1:5 затрудняется смешивание доливов. Вместимость горизонтальных танков составляет до 2000 гл. С точки зрения охлаждения, обслуживания и мойки целесообразнее размещать их за перегородкой.

Смотровое окно позволяет наблюдать за поверхностью пива в ходе брожения, для контроля за которым предназначены термометр и кран для отбора проб. Осмотр танка проводят через люк. Автоматическая мойка с помощью нескольких распылительных головок, располагаемых по длине танка, позволяет снизить трудозатраты. Необходимо предпринимать меры по защите танков от избыточного давления, возникающего при заполнении, а также против разрежения при опорожнении и мойке, для чего используется система предохранительных и вакуумных клапанов. Сбор дрожжей в очень крупных чанах может оказаться затруднен — дрожжам необходимо придать

консистенцию, пригодную для перекачивания насосом, путем разбавления водой, или собирать вручную (см. разделы 3.3.5 и 3.6.1.2).

3.4.2.5. Вертикальные бродительные танки цилиндрической конструкции изготавливались до настоящего времени только из двух материалов: стали V2A или листовой стали с облицовкой синтетическими материалами. Они достигают высоты 10-22 м, и при диаметре 3-6,5 м их полная вместимость составляет 700-6000 гл. Если при выборе геометрии танка еще в 1970-е гг. ориентировались на отношение диаметра к высоте (Д : В 1 : 3,5-5) без особого учета стоимости и возможностей монтажа, то начиная примерно с 1985 г. стали повсеместно стремиться к отношению Д : В 1 : 2 (при этом высота столба жидкости, включая конусную часть, не должна превышать 12-13 м), и объем танка составляет в этом случае 6000-6500 гл нетто. При использовании ускоренных способов брожения или брожения под давлением по-прежнему применяют отношение Д : В 1 : 3,5-4, так как усиленное образование CO_2 и повышение температуры вызывает более интенсивную конвекцию. При расчете размеров танка за основу принимают половину суслу, производимого в варочном цехе в сутки. При внесении дрожжей по методу завитков возможна продолжительность заполнения в течение 24 ч. Пространство на подъем пены при низовом брожении в области нормальных температур составляет 20-25 %, причем для высоких и узких танков, а также для брожения при повышенных температурах следует добавить еще 5 % (при брожении под давлением пространство на подъем может быть немного меньше) Угол наклона стенок конусной части составляет

60-75°. Вследствие сильной конвекции бродящего сула в ходе главного брожения не возникает каких-либо значительных отклонений по температуре (около 0,3 °С), по значению рН, по снижению экстрактивности и по количеству дрожжевых клеток. Сбор дрожжей здесь предельно прост — просто удаляется нижний слой осевших дрожжей (см. раздел 3.3.4). Что касается *арматуры*, то необходимы *клапаны заполнения и слива*, располагаемые в нижней части танка. *Отбор проб* в горизонтальных и плоскоконических танках по-прежнему производится с помощью крана для отбора проб. Для ЦКТб требуется своя система отбора проб — проба пива отбирается на верхней кромке конуса и при помощи реверсивного насоса возвращается в выпускной трубопровод пива. Благодаря этому из конуса можно отбирать как пробы пива, так и пробы дрожжей. Для контроля хода брожения используют установленные сверху и снизу датчики, фиксирующие перепад давления. *Индикация температуры* возможна на двух или трех уровнях. Датчик температуры с направленным вниз стержнем устанавливают в трубопровод для отбора проб (верхняя кромка конуса) так, чтобы его можно было промывать при мойке (термометры в цилиндрической части ганка также должны быть доступны для моющих растворов). При этом наклон стержня термометра составляет более 30°. Контактные термометры непосредственно у стенок танка дают точные показания тогда, когда на них не влияют охлаждающие поверхности. Для подвода и отвода CO₂ необходимы трубопроводы, которые можно комбинировать с трубопроводами для СР-мойки. Разделение сред производится с распределительной панели или с помощью двухседельных клапанов.

Кроме того, необходимы *вакуумные клапаны*, срабатывающие при опорожнении танка или при охлаждении после мойки горячей водой при пониженном давлении (30-50 мм вод. ст.), и *предохранительный клапан*, способный отводить то же количество воды, что поступило в танк при его заполнении. На танках, смонтированных вне помещения, оба клапана должны быть оснащены обогревом. *Шпунтование* при брожении под давлением или при выдержке пива в лагерном подвале обеспечивается по трубопроводу CO₂ с помощью шпунтаппарата с грузом. *Моечная арматура* может включать распылительные головки или направленные струйные моющие устройства, причем их расход и зона распыления должны гарантировать образование на стенках равномерной пленки жидкости. *Купольная арматура* ЦКТ должна обязательно предусматривать наличие смотрового окна, позволяющего контролировать (хотя бы частично) заполнение танка, образование завитков, эффекта насыщения CO₂ или работу распылительных головок. В большинстве случаев танки изготавливают под «нормальное» давление (избыточное давление 0,99 бар), но при этом следует учитывать, что давление на выходе, то есть в конусной зоне, больше на высоту слоя жидкости. Танки для брожения под давлением рассчитывают на избыточное давление 2 бар, хотя такое давление и не применяется (см. раздел 3.6.3.4).

Танки устанавливают или без изоляции (в помещении с соответствующим кондиционированием), или с изоляцией. Возможно также размещение изолированных танков с обшивкой, стойкой к атмосферным воздействиям, вне помещения. В качестве изоляции, как правило, используют пенополиуретан толщиной от 100 до 120 мм.

3.4.2.6. Вертикальные цилиндрические танки с плоским днищем («Асахи-танки»). Такие танки из нержавеющей стали (толщина листа — 4-6 мм) имеют высоту 8-10 м и диаметр от 4 до 8 м. Их вместимость — от 1000 до 4000 гл. Подобные резервуары можно использовать лишь при небольшом избыточном давлении (0,04 бар).

Верхнее дно имеет выпуклую форму, а нижнее — плоское с уклоном 10 %. Проходы для обслуживания закрыты сверху. Такие танки, имеющие соответствующую изоляцию и обшитые снаружи алюминием, монтируют под открытым небом. В них не происходит расслоения отдельных слоев бродающего пива, однако для выравнивания содержания дрожжей предусматривают простое приспособление, представляющее собой трубку с изменяющейся высотой. Крепится она на ролике при помощи тросика — один конец на поплавке на поверхности пива, а второй прикреплен к верхнему дну танка. Благодаря этому пиво при перекачивании на дображивание всегда отбирается из центра слоя жидкости на соответствующей высоте. Сбор дрожжей осуществляется лишь после перекачивания. Капитальные затраты при этом составляют около 50 % от затрат на «традиционный» бродительный цех с танками.

3.4.2.7. Вертикальные бродительные танки с плоскоконическим днищем. У небольших подобных танков с соотношением Д : В 1 : 1-1,5 конусная часть с углом наклона стенок 60-70° занимала бы очень много места, и чаще в таких танках этот угол составляет до 30°. Так как здесь сьем дрожжей перед перекачиванием пива на дображивание затруднен и может осуществляться только крайне осторожно, то дрожжи собирают лишь после спуска

пива. Требуемую плотность дрожжевого осадка позволяет получить охлаждение конусной части.

3.4.2.8. «Универсальные» танки (Unitanks) представляют собой танки с плоскоконическими днищем с углом наклона стенок 142-150°. Диаметр и высоту слоя жидкости рассчитывают в отношении 1:1-1,5; как и вышеупомянутый Асахи-танк, унитанк не может использоваться при давлении выше 0,04 бар. В первоначальной конструкции охлаждение производилось только в одной зоне, расположенной в верхней трети танка, но в настоящее время предусматривают две системы охлаждения обечайки и одну для днища. Такие танки изолированы, причем их часто устанавливают на открытом воздухе вместе с элементами управления. Особенностью подобных танков кроме их размеров является кольцо с форсунками, установленное в центре конуса ближе к днищу, через которое для усиления конвекции и перемещения дрожжей к середине конуса продувается CO₂. Дрожжи можно собирать после окончания брожения. Эти танки вполне пригодны для традиционного брожения, хотя и были сконструированы для ведения брожения и созревания в одной емкости.

3.4.2.9. Сфероконические танки изготавливаются из высококачественной стали (толщина листа 8 мм). Их верхняя часть имеет сферическую форму, а нижняя — форму конуса с углом наклона стенок 60°. По окружности купола и конуса расположены охлаждающие карманы. Изоляция выполнена из пеностекла толщиной 220 мм. Благодаря хорошему отношению поверхности к объему такие танки допущены к использованию с избыточным давлением 1-3 бар. При высоте 12 м

и диаметре 10 м общая вместимость достигает 5000 гл.

3.4.2.10. Узкие танки со сферическим днищем и внешним охлаждением («реакторы») изготавливались в 1970-1980-е гг. в Центральной и Восточной Германии и продолжают эксплуатироваться и в настоящее время. Они имеют стандартный размер (диаметры 3,9, 4,2, 5,35 и 6,0 м), что обеспечивает вместимость нетто 1300, 2500 и 5500 гл при отношении Д : В 1 : 3,5 — 1 : 5. Угол наклона стенок конуса составляет 40°, верх танка плоский (в последних моделях — сводчатый). Для охлаждения используется пластинчатый охладитель, через который прокачивается пиво при достижении максимальной температуры. В таком танке предусмотрены два выпускных отверстия — в конусе (для отбора пива, перекачиваемого через пластинчатый охладитель, а также для опорожнения танка), а также в верхней части (для взятия пива поверх дрожжевого осадка). Возврат охлажденного пива производится по нагнетательному трубопроводу, заканчивающемуся на уровне 4 м ниже поверхности жидкости. Циркуляционный насос рассчитывают так, что содержимое танка перекачивалось в течение 20 ч. Подобные танки позволяют монтировать их вне помещения, обшиты оцинкованными стальными листами и изолированы жестким полиуретаном толщиной 80 мм.

3.4.2.11. Охлаждение сбраживаемого сусла. Помимо того, что в охлаждении нуждается помещение для брожения, охладить требуется и сбраживаемое сусло, так как при температурах низового брожения в виде тепла высвобождается около 570 кДж (136 ккал)/кг глюкозы. Таким образом, температура сусла в стадии

брожения непрерывно повышается. Поскольку во избежание слишком бурного протекания брожения не допускается превышение некоторой температуры, требуется дополнительное охлаждение молодого пива (лучше всего за счет охлаждения емкости). Благодаря такому охлаждению и поддержанию определенной температуры брожения можно управлять интенсивностью брожения. Кроме того, охлаждение позволяет понизить температуру к концу брожения.

В старых бродильных цехах охлаждение проводили с помощью естественного льда, которым заполняли медные или стальные поплавки. В настоящее время *бродильные чаны* охлаждают при помощи змеевиков и карманов, встраиваемых в чаны, привариваемых к их стенкам или же заделываемых в обмуровку. Внутренние охладители для алюминиевых или бетонных чанов изготавливают из меди, алюминия или высококачественной стали, а в чанах из стали V2A — из того же материала. При охлаждении с помощью рубашки цельнотянутые стальные трубы располагают в обмуровке чанов, причем, как и в случае применения охлаждающих карманов, отдельные емкости следует изолировать друг от друга. В бродильных чанах в качестве охлаждающей среды, как правило, используют пресную воду температурой от 0,5 до 1 °С. Более низкие температуры достигаются с использованием других хладагентов (например, рассола, спиртового водного раствора, гликоля) или с помощью непосредственного испарения хладагента. В случае неточной регулировки охлаждения существует опасность «шока» дрожжей, что может вызвать задержку брожения, поэтому точность регулировки обеспечивается путем смешивания хладагента из контуров его подачи и отведения. Следует

иметь в виду, что разгерметизация системы охлаждения при применении внутренних охладителей может испортить пиво.

При главном брожении в течение 7 сут средняя удельная потребность в холоде (важная для выбора размеров холодильной установки) составляет порядка 630 кДж (150 ккал)/сут на 1 гл брутто-объема или 750 кДж (180 ккал)/сут на 1 гл нетто-объема. Максимальная потребность в холоде для отдельного броидильного чана для низового брожения при сбраживании экстракта до 2,5 кг/гл в сутки составляет порядка 1465 кДж (350 ккал)/сут на 1 гл нетто-объема, для чего требуется поверхность охлаждения 2-2,5 м²/100 гл. В случае повышения температуры ледяной воды примерно на 2,5 °С необходимое ее количество составит максимум 5-6 л/гл в час. Для охлаждения с максимальной температуры до температуры перекачивания пива на дображивание в 0,1 °С/ч при равных условиях требуется дополнительно 4-5 л воды/гл в час. Расход воды на чан необходимо контролировать с помощью расходомеров.

При верховом брожении средняя удельная потребность в холоде составляет примерно 1880 кДж (450 ккал)/сут на 1 гл нетто-объема, так как максимальное сбраживание экстракта доходит до 4,5 кг/гл в сутки.

Бродильные танки горизонтальной конструкции зачастую оборудуют внутренними охладителями в форме змеевиков или карманов, которые, однако, затрудняют мойку танков. В новых установках охлаждающие карманы, распределяемые по зонам, размещают на различной высоте. Верхняя зона обеспечивает поддержание желаемой максимальной температуры брожения, вторая зона предназначена

для дополнительного охлаждения противотоком, а третья (в нижней части горизонтального танка) должна содействовать образованию более плотного дрожжевого осадка. Размещение охлаждающих карманов возможно при наличии достаточного пространства между танками.

Вертикальные цилиндрикоконические танки также разделяют на отдельные зоны охлаждения. В зависимости от высоты в танке располагают от 2 до 4 поверхностей охлаждения в стенке и одну — в конусной части. В качестве хладагента не применяют рассол из-за содержащегося в нем хлорида, который может вызывать разрушение высококачественной стали. В водноспиртовые смеси, в растворы гликоля необходимо добавлять ингибиторы, позволяющие замедлить хотя и слабую, но все-таки коррозию стали. Для предотвращения замерзания пива или вымерзания воды температура хладагента не должна быть ниже — 4 °С. Это же относится и к аммиаку, испаряющемуся непосредственно в системе. В современных установках общепринятым стало использование охлаждающих карманов большего размера и автоматическое регулирование температуры хладагента в зависимости от режима охлаждения, позволяющее применять температуры хладагента в пределах 4-6 °С (и выше) для поддержания максимальной температуры, а более низкие температуры (от 0 до 4 °С) — для охлаждения.

Поскольку применение фторхлоруглеводородов запрещено, фреон больше не используют. Поверхность охлаждения определяется по описанным выше расчетным значениям, однако в большинстве случаев ее рассчитывают на более высокие температуры брожения — 4-4,5 м²/100 гл нетто-объема, причем доля охлаждения конусной поверхности составляет

15-20 %. С точки зрения охлаждения крупных емкостей такая доля может показаться несущественной, однако из технологических соображений желательно ее соблюдать. Отдельные системы охлаждения включаются автоматически, но во избежание слишком сильной конвекции целесообразно включить все поверхности охлаждения цилиндрической части уже при поддержании температуры брожения. Для предотвращения температурного шока дрожжей интервалы включения должны быть небольшими.

В новых установках иногда предъявляют повышенные требования к скорости охлаждения, для чего требуется соответствующий расчет размеров поверхностей охлаждения. В случае особо сильного или глубокого охлаждения проще и дешевле охлаждать в танке молодое или созревшее пиво только до 4 °С, а оставшееся охлаждение (до 0 или -1 °С) компенсировать с помощью внешних поверхностей охлаждения.

В последние 20 лет многие установки были оснащены системой охлаждения по принципу непосредственного испарения. Её преимуществом является более высокая (на 4-5 °С) температура испарения, а также уменьшение поверхности охлаждения примерно на 10% в результате улучшения теплообмена. Тем не менее закупка танка с усиленными поверхностями охлаждения, рассчитанными на стационарное давление аммиака (11,6 бар), обходится несколько дороже. Кроме того, несмотря на наличие у аммиака сильного запаха, обнаружить неплотности в такой системе охлаждения довольно трудно.

Желание ограничить сферу применения аммиака, требующего проведения регулярных контрольных мероприятий, привело к появлению в целом ряде новых

установок систем косвенного охлаждения хладоносителем (гликолем). Хотя новые установки, работающие по принципу испарения, отличаются высокой степенью надежности, введение новых экологических норм стимулирует переход на косвенное охлаждение.

На случай выхода из строя системы автоматического охлаждения в целях корректного проведения брожения необходимо предусмотреть возможность ручного вмешательства, что легче реализуется в косвенных системах охлаждения.

Кроме всего вышеперечисленного, эксплуатируются также ЦКТБ и танки для созревания пива без непосредственного охлаждения. При этом температура в помещении должна соответствовать среднему значению, регулируемому в зависимости от условий брожения и созревания. Возможно также индивидуальное охлаждение танков путем орошения охлаждающей водой, для чего бетонная опорная плита танка выполняется в форме ванны, куда стекает охлаждающая вода, отводимая затем в холодильную установку.

3.4.3. Внесение дрожжей в сусло при главном брожении

Процесс брожения начинается с внесения дрожжей в сусло. Этот процесс называют «задачей дрожжей» или «задачей семенных дрожжей», а дрожжи, соответственно, — «здаточными» или «семенными».

3.4.3.1. Момент внесения дрожжей определяется способом охлаждения сусла. При использовании холодильной тарелки, холодном сепарировании или холодном фильтровании, а также при флотации

дрожжи вносят уже во время поступления сусла в чан для внесения дрожжей или бродильный чан. При седиментации взвесей охлажденного сусла для получения осадка взвесей требуется пауза в 8-16 ч (см. раздел 2.7.7.2). В этом случае для задержки распространения быстро размножающихся термобактерий на пути сусла по возможности не должно быть микроорганизмов. Дрожжам необходимо время, чтобы после хранения активироваться и начать размножение (индукционная фаза, см. раздел 3.1.4).

3.4.3.2. Количество дрожжей следует рассчитать так, чтобы при начальной температуре сусла 5-6 °С первые признаки брожения появлялись в течение 12-16 ч. Обычная норма внесения дрожжей составляет 0,5 л густых дрожжей на 1 гл 12 %-ного сусла (зачастую ее приводят на 100 кг засыпи, что составляет 2-3 л). При равномерном распределении дрожжей это соответствует примерно 15×10^6 дрожжевых клеток/мл сусла. Такая норма внесения дрожжей может быть снижена в биологически чистом сусле, в более теплых бродильных цехах, хорошо изолированных бродильных чанах или при более высоких температурах сусла при внесении дрожжей. Повышенная норма внесения дрожжей рекомендуется для сусла, сильно инфицированного термобактериями, для более холодных бродильных цехов и неизолированных резервуаров.

На норму внесения дрожжей оказывает влияние также их физиологическое состояние. Длительное хранение дрожжей вызывает необходимость увеличения дозировки. В сусло для темного и крепкого пива вносят также повышенную норму дрожжей. Первое, как правило, характеризуется пониженным содержанием

аминокислот и неблагоприятным составом Сахаров, а у второго осмотические характеристики оказывают на дрожжи негативное действие. Если начальное сусло не удастся в достаточной степени обеспечить кислородом, то необходимо увеличить количество дрожжей.

Норму внесения дрожжей зачастую повышают для ускорения процесса брожения. Если продолжительность брожения при внесении 0,5 л дрожжей/гл сусла составляет 9 сут, то при внесении 1 л/гл она сокращается до 7, а при 2 л/гл — до 4-5 сут. В случае повышенных норм внесения скорость размножения использованного количества дрожжей уменьшается. Если из 0,5 л дрожжей/гл удастся собрать около 2 л/гл, то 1 л/гл дает около 2,5 л, а при четырехкратной норме (2,0 л/гл) выходит 3,0 л дрожжей/гл. Распределение дрожжей по возрасту, определяемое на основании подсчета почечных рубцов, не изменяется. На свойства пива при прочих равных условиях (температуре и аэрации, причем последнюю, возможно, следует уменьшить) существенного влияния не оказывается, однако вследствие низких темпов размножения при очень высокой норме внесения дрожжей приходится мириться с более продолжительным их разведением (для получения достаточного количества задаточных дрожжей), что возможно лишь в микробиологически безукоризненных условиях.

Указанные нормы внесения дрожжей относятся к густой консистенции дрожжей. Её получают после осаждения дрожжей в емкостях для их хранения. В случае дрожжевой суспензии или сильно загрязненных дрожжей (наличие белка и мертвых клеток) следует увеличить количество дрожжей. Целесообразным представляется определение концентрации

дрожжей путем отфильтровывания. В зависимости от отобранного количества жидкости (от 16 до 84 %) можно подобрать норму внесения дрожжей и, таким образом, поддерживать примерно постоянное количество клеток. Простым и надежным методом является также определение твердой фазы с помощью лабораторной центрифуги. Так называемое «центрифугированное» значение твердой фазы колеблется от 40 до 55 %. Исходные данные для варьирования нормы внесения дрожжей легко определяются по таблицам. Применяется также метод измерения мутности взвеси клеток с помощью простого нефелометра или фотометра.

3-4.3.3. Способ внесения дрожжей. Только что собранные дрожжи довольно часто сразу же снова используют для внесения в следующие варки («из чана в чан»), причем желательно очистить дрожжи на вибростол (см. раздел 3.3.5.1). Определение твердой фазы («центрифугированного значения») важно для правильного выбора количества дрожжевых клеток. Хранящиеся дрожжи отбирают из дрожжевой емкости, причем в этом случае следует позаботиться об однородности дозируемых дрожжей и определении ее консистенции. В современных установках охлаждения суслу успешно применяется автоматическое дозирование дрожжей непосредственно в суслопровод, продолжающееся в течение всей варки, что обеспечивает равномерное распределение дрожжей в сусле. Отбор дрожжей из накопительного бака или сборника осуществляется регулирующими дрожжевыми насосами (шестеренчатыми, мембранными/диафрагменными или гидростатическими) или с помощью трубки Вентури.

Применявшийся ранее способ внесения дрожжей предусматривал тщательное

перемешивание порции дрожжей в небольшом количестве суслу для растворения комков, что осуществлялось или путем переливания дрожжей из одного ведра в другое до тех пор пока масса сильно не вспенится, или в аппаратах для перемешивания и аэрирования, так называемых «грушах», в которых смесь из дрожжей и суслу перемешивалась стерильным сжатым воздухом, а затем нагнеталась в суслопровод или чан. В этом случае необходимо было также позаботиться о равномерном распределении дрожжей в сусле, для чего после заполнения чана производилось «перемешивание путем аэрации», то есть стерильный воздух вдувался в сусло через перфорированную трубу, обеспечивавшую достаточное снабжение суслу кислородом. Это повторяли в первые сутки брожения несколько раз (от позднего аэрирования суслу в последующие сутки можно отказаться, так как тем самым стимулируется рост дрожжей и образуется большое количество побочных продуктов брожения — в первую очередь диацетила или его предшественника 2-ацетолактата).

По данному принципу в настоящее время дрожжи в танке смешиваются с воздухом в течение 30-60 мин в целях гомогенизации. Иногда используют так называемое «предварительное пропагирование дрожжей» с суслем, когда к дрожжам добавляют примерно такое же количество суслу и проводят интенсивное аэрирование. Полученную смесь можно использовать непосредственно для внесения дрожжей или оставить на несколько часов (если, например, эта партия дрожжей должна последовательно вноситься в несколько варок).

Контроль количества дрожжей в сусле осуществляется при помощи счетной камеры Тома, счетчиков частиц или путем

определения мутности (см. выше), причем при автоматическом дозировании контроль проводят в зависимости от различий в мутности первоначального сула и сула после внесения дрожжей.

Необходимость дозирования дрожжей в течение всего прохождения сула становится актуальной особенно при непосредственном внесении дрожжей в танк для нескольких варок — например, после предшествующей седиментации взвесей охлажденного сула, при холодном сепарировании или холодном фильтровании сула, а также во флотационных танках для нескольких варок. Следует избегать ситуации, когда при длительных циклах аэрирования в танке образуются слои, выравниваемые лишь после интенсивной конвекции. В таком случае может произойти изменение профиля побочных продуктов брожения.

3-4.3.4. Снабжение кислородом лучше проводить уже при обработке сула с помощью аэрационных свечей, трубки Вентури (возможно со статическим смесителем) или напорного диска сепаратора (см. раздел 2.7.7.3), а при известных условиях — параллельно удалению осадка взвесей охлажденного сула путем флотации. При этом дополнительная аэрация в чане с помощью описанного выше «перемешивания путем аэрации» является не только излишней, а даже вредной, так как в результате мельчайшие пузырьки воздуха могут увеличиться в размерах и оказаться вытесненными. Тем не менее при перекачивании сула после внесения в бродильный чан семенных дрожжей из чана для разведения дрожжей целесообразна дополнительная интенсивная аэрация. Произойти чрезмерного аэрирования сула при этом не может, так как излишки воздуха удаляются, а остаточное содержа-

ние кислорода в сусле составляет 7-8 мг/л. Лишь в случае применения чистого кислорода оно повышается до 30 мг/л, что при известных условиях может отрицательно повлиять на дрожжи. На значения ИТТ или гН готового пива такая сильная аэрация в начале брожения никакого действия не оказывает. Благодаря размножению дрожжей кислород очень быстро потребляется, и значение гН быстро снижается с 20 до 9-11.

3.4.3.5. Освежение дрожжей. Наряду с вышеупомянутым способом внесения дрожжей часто применяют так называемое «освежение дрожжей». Этот метод используют тогда, когда из небольшого количества дрожжей (например, при разведении чистой культуры дрожжей на производстве) за короткое время необходимо получить задаточные дрожжи в количестве, достаточном для одной варки. Сначала дрожжи вносят в небольшое количество сула (1 л дрожжей на 15 л сула), а после начала брожения добавляют двойную порцию сула. Этот процесс повторяют до тех пор, пока в аппарате для выращивания чистой культуры дрожжей в сусле не окажется такого количества дрожжей, которого хватит для внесения в бродильный чан.

При использовании относительно небольших объемов дрожжей хорошо зарекомендовало себя на практике периодическое аэрирование до степени сбраживания около 40 % (см. раздел 3.3.2.2). Такой способ можно применять непрерывно, при этом из аппаратов для выращивания в бродильный чан перекачивают 40 % смеси из дрожжей и сула, как *из отделения для чистой культуры дрожжей*. Хотя температурный режим в отделении для чистой культуры дрожжей выше, чем обычно, и необходимо

интенсивное аэрирование, дрожжи иногда отлично сохраняются в течение полугода и остаются активными.

3.4.3.6. Внесение семенных дрожжей доливом основано на том же принципе. Сусло одной варки с нормальной нормой внесения дрожжей сначала распределяют на два или три чана. Через 24 ч это количество сусла находится уже в состоянии брожения, и к нему можно долить вторую варку, в которую дрожжи еще не внесены. Долив через следующие 12-16 или 24 ч во избежание температурного «шока» дрожжей производится при температуре бродящего сусла. При внесении семенных дрожжей доливом удается ускорить брожение и получить более высокую степень сбраживания.

3.4.3.7. Аналогичным образом поступают и при *внесении дрожжей в стадии завитков*. В чан или танк для внесения дрожжей помещают 33 % завитков со степенью сбраживания 25-35 %, а затем доливают двойное количество семенных дрожжей при полном аэрировании. При повторном достижении такой же стадии брожения этот процесс может повторяться бесконечное количество раз. Данный способ хорошо применять после пауз, вызванных перерывами в работе, или в целях более быстрого освежения задаточных дрожжей.

При таком внесении дрожжей или непосредственно из чистой культуры, или из танка, в котором брожение уже прекратилось и достигнуто желаемое количество дрожжей (степень сбраживания — 25-30 %, количество дрожжевых клеток — $50-60 \times 10^6$ /мл), следует стремиться к идеально равномерному распределению завитков в свежем сусле. Если, например, содержимое танка в состоянии

завитков вместимостью на 3 варки распределяется на 6-7 варок в 3 x 3 варочных котла, то содержимое танка в состоянии завитков должно быть одновременно загружено во все три танка для брожения. Это необходимо сделать потому, что завитки в описанном состоянии могут быть еще не полностью однородными, в результате чего в указанных трех танках будут протекать три совершенно различных процесса брожения.

Внесение дрожжей чистой культуры в состоянии завитков (см. раздел 3.3.2.2) хорошо себя зарекомендовало на практике в целях улучшения фильтруемости пива (см. раздел 7.7.2.5). Менее эффективно в этом отношении внесение в состоянии завитков дрожжей, полученных в производственных условиях.

Внесение дрожжей может осуществляться или в собственно бродильные чаны, или в танки или чаны для внесения дрожжей. При традиционном процессе задачи дрожжей сусло после внесения семенных дрожжей оставляют там на 12-24 ч, после чего перекачивают в бродильный чан или танк.

Чан для внесения дрожжей должен вмещать не менее одной варки, однако существует возможность вносить семенные дрожжи доливом непосредственно в этот чан. Когда брожение достигло нужной стадии, через 12-16 ч (или в зависимости от количества чанов для внесения дрожжей, или производственных условий) содержимое спускают или перекачивают в бродильный чан. Преимуществом использования чана для внесения дрожжей является получение однородного начального сусла, особенно если бродильные чаны небольшие и не соответствуют объему варки. В начальной стадии брожения происходит осаждение примесей (осадка взвесей охлажденного

сусла, мертвых дрожжевых клеток и микроорганизмов), содержащихся в сусле. За счет этого брожение проходит более чисто и равномерно, а нижний слой осадка дрожжей уже не осаждается в бро-дильном чане. Так как часть дрожжей не находится во взвешенном состоянии, а участвует в сбраживании сусла на дне чана, то перекачивание может вызвать замедление брожения. В данном случае целесообразно применить повторное аэрирование (например, с помощью трубки Вентури, 15-25 л воздуха/гл сусла). Иногда стремятся к целенаправленному отделению осадка взвесей охлажденного сусла во время нахождения сусла в чане для внесения дрожжей, как, например, во время флотации.

При флотации (см. раздел 2.7.7.2) сусло после внесения семенных дрожжей перекачивают через 4-16 ч в зависимости от производственных условий (отсутствие ночной смены и т. д.). Новые системы флотации обеспечивают такую высокую степень распределения воздуха, что подъем взвесей охлажденного сусла с пузырьками воздуха может закончиться уже через 2 ч, что позволяет быстро перейти к перекачиванию.

3.4.4. Проведение брожения

На активность дрожжей влияет температура брожения, причем при брожении выделяется тепло, вызывающее повышение температуры бродящего сусла. Благодаря этому происходит ускорение метаболизма под действием ферментов, и жизнедеятельность дрожжей должна меняться в строго определенных границах. Задачей проведения брожения на практике является оказание воздействия на интенсивность брожения путем регулирования температуры сусла, которая

при низовом брожении варьирует обычно от 4 до 12 °С, а при интенсивных способах брожения может достигать существенно более высоких значений (вплоть до 20 °С). Применяемый способ брожения должен учитывать качественные показатели (состав солода или сусла, тип дрожжей, характер приготавливаемого пива), однако зачастую доминируют количественные показатели, в частности, продолжительность брожения. При традиционном способе сбраживания различают *холодное брожение* (температура сусла при внесении дрожжей 5 °С, максимальная температура — 7-9 °С) и *теплое брожение* (температура сусла при внесении дрожжей 7-9 °С, максимальная температура - 10-12 °С).

3.4.4.1. *Холодное брожение* лучше сказывается на качестве пива, так как реакции метаболизма, снижение значения pH и процессы осаждения протекают медленнее и не так глубоко. Получаемое пиво отличается более тонким изысканным вкусом, выраженной гармоничностью и хорошей пеностойкостью. Для компенсации пониженной степени размножения дрожжей и ускорения брожения рекомендуется интенсивное аэрирование дрожжей несмотря на низкие температуры.

3.4.4.2. *Теплое брожение* применялось ранее преимущественно для приготовления темного пива. В настоящее время при ограниченной производительности бро-дильного отделения приготовление светлых сортов пива также осуществляют по теплому способу брожения. Повышенные температуры в целом способствуют интенсификации хода брожения, благодаря усиленному выделению CO₂ образуются более высокие завитки, значение pH снижается быстрее и значительно,

усиливается осаждение коллоидов белковых соединений и горьких веществ. Пиво, приготовленное по теплomu способу, зачастую характеризуется менее гармоничным вкусом и худшими пенообразующими свойствами; дрожжи быстрее «вырабатываются», раньше теряют свою сбраживающую способность, чем при холодном брожении, и при известных условиях придают пиву дрожжевой привкус. При последующем дображивании, когда молодое пиво, имеющее высокую температуру, быстро охлаждают в конце процесса брожения, часто возникают проблемы.

В ЦКТ, особенно при высоте уровня пива 10-12 м, подъем температуры до 10-12 °С может оказаться благоприятным для размножения дрожжей и обеспечения более глубокой и равномерной конвекции. В этом случае образуется практически столько же побочных продуктов брожения (высших спиртов и эфиров), как и при холодном брожении. Обычно после такого брожения применяют выраженную стадию созревания при равной или немного более низкой температуре.

3.4.4.3. Продолжительность брожения (время, необходимое для получения соответствующей степени сбраживания молодого пива) тесно связана со способом брожения. Для 12 %-ного пива она составляет 6-10 сут. Наиболее благоприятной является продолжительность брожения в течение 7 сут, которой можно добиться сегодня даже при холодном брожении в условиях оптимального аэрирования, небольшого увеличения нормы внесения дрожжей до $18-25 \times 10^6$ клеток и, конечно, нормального состава сусла. Для темного пива требуется меньшая продолжительность брожения, а для

пива, изготовленного с использованием несоложенного сырья, и для крепкого пива — более длительная. В бродильных танках благодаря усиленной конвекции сусла происходит несущественное сокращение продолжительности брожения.

3.4.4.4. Ускоренные способы брожения протекают обычно в принципиально иных условиях — например, при повышенной норме внесения дрожжей, с использованием перемешивания или существенно более высоких температур, причем применяется также избыточное давление в 1-2 бар, позволяющее удержать CO₂ для последующего процесса созревания.

3.4.5. Ход главного брожения

За ходом брожением можно следить по внешним характерным изменениям сусла. Различают следующие *стадии брожения*:

- забел (1-е сут);
- стадия низких завитков (на 2 и 3 сут);
- стадия высоких завитков (3-5 сут);
- опадение пены и образование деки (до 7-8 сут).

Ход брожения можно отслеживать не только по этим внешним проявлениям, но и по изменениям, происходящим с бродящим суслом, то есть по поведению дрожжей, снижению экстрактивности, увеличению температуры и повышению кислотности (снижению значения pH). Поскольку картину брожения в бродильных танках иногда вообще наблюдать невозможно, то последующее описание относится к классическому брожению в чанах.

3.4.5.1. При забеле примерно через 12 ч чан покрывается белой пенистой декой. Снижение экстрактивности составляет в первые 24 ч 0,4-0,6 %, снижение значения

pH — 0,25-0,35, а повышение температуры в зависимости от температуры в бродильном отделении — 0,8-1,3 °C.

3.4.5.2. В стадии низких завитков, продолжающейся 1,5-2 сут, пенная дека смещается от края чана и превращается в белую плотную пенную деку с завитками. Устремляющееся вверх большое количество CO₂ переносит продукты выделения из сусла в деку, которая окрашивается в коричневатый (до бурого) цвет. Снижение экстрактивности составляет в последующие 2 сут 1,0-1,4 % в сутки, а температура увеличивалась бы на 1,5-2,0 °C/сут, если бы это повышение не было остановлено осторожным охлаждением при максимальной температуре. Значение pH снижается до 4,8-4,6.

3.4.5.3. Стадия высоких завитков начинается на 3 сут и продолжается 2-3 сут. В этот период отмечается наибольшая интенсивность брожения. Завитки достигают высоты 30 см и более, изменяя цвет от желтого до коричневого. Экстрактивность сильно снижается и в зависимости от расы дрожжей, степени аэрации сусла и температуры брожения составляет от 1,4 до 2 % в сутки. Как правило, максимальная температура достигается на 3 сут и поддерживается на этом уровне благодаря искусственному охлаждению. Степень сбраживания достигает максимальной величины, а значение pH снижается до 4,6-4,4. Размножение дрожжей прекращается, у хлопьевидных дрожжей происходит комкование и флокуляция дрожжей; брожение прекращается с постепенным началом охлаждения противотоком.

Охлаждение противотоком во избежание температурного «шока» дрожжей и их застудневания должно протекать

медленно. Оно начинается при высокой интенсивности брожения и пониженной способности дрожжей к флокуляции при степени сбраживания 40-45 %, причем снижение температуры в 0,5-0,7 °C постепенно возрастает до 1-1,5 °C. У медленно сбраживаемых дрожжей охлаждение противотоком проводится лишь при степени сбраживания 60 %.

3.4.5.4. Образование деки начинается с опадения завитков — пена опадает, образуется сплошная плотная дека, которая благодаря выделениям хмелевых смол приобретает полосатую структуру. Даже при перекачке пива на дображивание ее толщина должна составлять около 2 см. Тонкая дека способствует оседанию хмелевых смол, вызывающих резкий и горький вкус пива. Снижение экстрактивности составляет в последние сутки лишь 0,2-0,5 %. Значение pH остается постоянным или незначительно повышается. Хлопьевидные дрожжи интенсивно флокулируют и оседают плотным слоем на дне бродильного чана. Под декой зеркало пива должно быть темным, до черного. Это происходит только в том случае, если осветление прошло достаточно глубоко, а способность дрожжей к флокуляции ярко выражена. Пылевидные дрожжи характеризуются неудовлетворительным осаждением в бродильном чане. Чтобы провести в таком случае сбор дрожжей, необходимо начать охлаждение достаточно рано (при степени сбраживания 35 %), чтобы температура пива в последние 24 ч составляла около 2 °C и могло пройти осаждение некоторого количества дрожжей. Температура готового к перекачиванию пива редко бывает более 3,5-5 °C — в противном случае возникает риск, что при распределении по танкам для дображивания дрожжи

слишком сильно охлаждаются и дображивание замедлится. Перед перекачиванием пива деку необходимо тщательно удалить с помощью специального перфорированного приспособления, что в больших бродительных чанах сопряжено с трудностями. В данном случае, как и для закрытых чанов, желательно удалить деку еще за 24-36 ч до перекачивания, что позволяет при повторном снятии иметь возможность удалить также остатки хмелевых смол.

3Л.5.5. Оптимизировать этот традиционный способ брожения можно путем внесения дрожжей из расчета 1 л/гЛ (25-30 x 10⁶ клеток на 1 мл суслу), а также с помощью интенсивного аэрирования (8-9 мг О₂/л) в сочетании с температурой суслу при внесении дрожжей 6,5-7 °С. Снижение экстрактивности в первые 24 ч составляет 0,8-1,0 %, значение рН снижается на 0,6-0,7, и за это время достигается максимальная температура 8,5-9,0 °С. В последующие сутки снижение экстрактивности составляет 1,7-2,3 % даже при охлаждении противотоком (в зависимости от метода перекачивания пива его начинают при степени сбраживания 45-65 %), затем снижение экстрактивности составляет 1,0-1,5%, а за сутки до перекачивания — 0,5-0,7 %. При этом необходимо следить за тем, чтобы вместе с молодым пивом в лагерное отделение не поступило слишком много дрожжей.

3.4.5.6. В бродительных танках отдельные стадии брожения определить невозможно. Единственным индикатором здесь являются показания сахарометра и температура. Охлаждение осуществляется по зонам. Для поддержания температуры служит верхняя зона, для охлаждения

противотоком дополнительно включается средняя зона и, наконец, для осаждения дрожжей используется конусная зона охлаждения (в горизонтальных танках — возможно, система охлаждения днища). Для предотвращения слишком сильной циркуляции бродительной среды системы бокового охлаждения в вертикальных танках зачастую используются как для поддержания, так и для снижения температуры (иначе может произойти подмыв деки, содержащей горькие вещества). Обычно дека до конца брожения поддерживается за счет большой высоты слоя или благодаря уменьшению поверхности пива, и риск оседания деки отсутствует. Более того, при перекачивании пива на дображивание она остается на стенке танка или в конусной части.

3.4.5.7. Контроль хода главного брожения осуществляется путем наблюдения за стадиями брожения и их своевременной сменой путем ежедневного, по два раза в сутки, определения температуры брожения и экстрактивности. Для этих целей используют поплавковые термометры и сахарометры (отдельно для каждого бродительного чана). Отображение значений осуществляется, как правило, в форме номограмм. Для бродительных танков определяют только температуру и экстрактивность (иногда также значение рН), а в конце брожения — содержание свободного α-аминного азота.

3.4.5.8. Контроль количества дрожжевых клеток с помощью счетных камер или счетчика частиц важен для производственного контроля. Как уже упоминалось, внесение дрожжей из расчета 0,5 л/гЛ дает 15 x 10⁶ клеток/мл суслу. В результате размножения до наступления стадии высоких завитков количество клеток

составит $65-75 \times 10^6$, и при традиционном перекачивании пива в молодом пиве должно содержаться еще $10-15 \times 10^6$ клеток. Обычно количество пылевидных дрожжей достигает таких же максимальных значений, однако даже после паузы для отстаивания сусла в течение 1 сут $25-40 \times 10^6$ клеток еще находятся во взвешенном состоянии. С учетом этих значений оптимальное для дображивания количество дрожжей можно получить путем смешивания хлопьевидных и пылевидных дрожжей.

3.4.5.9. Отклонения при брожении. Картины брожения не всегда одинаковы и на отдельных стадиях брожения могут возникать те или иные отклонения.

Пролешины в деке проявляются в начале брожения и могут быть вызваны неравномерным распределением дрожжей, слишком слабым аэрированием или невысокой бродильной способностью дрожжей. В большинстве случаев их можно устранить без каких-либо негативных последствий при помощи повторного интенсивного перемешивания аэрированием.

Недостаточный забел может вызываться теми же причинами, а также инфицированием сусла, внесением физиологически ослабленных дрожжей или неправильным составом сусла. В зависимости от причины используют добавление дрожжей, дополнительное аэрирование, подогрев сусла или добавление солодовой вытяжки.

Задержка брожения в стадии низких завитков может повлечь за собой ухудшение вкуса пива. Она бывает обусловлена вышеуказанными причинами, а также слишком низкой температурой внесения семенных дрожжей доливом (и, тем самым, мгновенным охлаждением дрожжей)

и неудовлетворительным составом сусла по азоту. В этом случае для стимулирования брожения принимают те же меры, что и при недостаточном забеле, а при известных условиях — перекачивание, интенсивную аэрацию сусла и добавление 2 л/гл свежих дрожжей (возможно, от другого предприятия) вместе со стружкой (5 г/гл). Можно также рекомендовать при перекачивании пива на дображивание внесение активированного угля из расчета 5-20 г/гл и непрерывное наблюдение за пивом отдельной перекачки в лагерном отделении.

Кипящее брожение возникает преимущественно в фазе высоких завитков и проявляется в виде похожего на кипение или волнение движения в отдельных местах или на больших участках поверхности жидкости, причем завитки или не образуются, или исчезают. Склонность к такому брожению проявляется у плохо растворенного солода из ячменя урожая засушливых лет, при плохом кипячении сусла или неудовлетворительном оседании осадка взвесей горячего сусла. Кипящее брожение в большинстве случаев наблюдается только в отдельных варках и в отдельных чанах, не приводя к изменению характера пива.

Сдвиг деки в конце брожения проявляется в образовании мелкозернистой белой пены по краю чана или на охладителях. Как правило, он бывает обусловлен слишком сильным охлаждением противотоком, колебаниями температуры и последующей температурной адаптацией дрожжей. Качество получаемого пива при этом не ухудшается.

Пузырчатое брожение наступает в большинстве случаев в конце стадии высоких завитков или при формировании деки и проявляется в виде крупнопузырчатой пены — круглых или овальных пузырей

диаметром 3-20 см. Объясняется оно формированием вязкой деки, препятствующей улетучиванию CO₂. Способствуют пузырчатому брожению старый хмель, плохо очищенный и запыленный солод с истекшим сроком хранения из нижних слоев силосов для солода. К пузырчатому брожению чувствительны некоторые расы дрожжей, однако на пиво оно не оказывает негативного влияния.

Всплывшие дрожжи в ходе или в конце брожения происходит в том случае, если дрожжи постепенно или неожиданно начинают вести себя как дрожжи верхового брожения. Такого рода «превращение дрожжей» способно изменить характер пива. Если дрожжи поднимаются на поверхность при *перекачке пива на дображивание*, то это объясняется причинами механического характера. Это явление, вызванное скоплением CO₂ в дрожжах, иногда возникает в очень высоких резервуарах, а также в вертикальных бродильных танках с плоскоконическим днищем. Если таким путем в чан для дображивания не попадет слишком много дрожжей, то оно большого значения не имеет. Через одну неделю выдерживания пива в лагерном подвале необходимо еще раз произвести перекачивание и «оживить» дображивание в стадии низких завитков.

Оседание деки происходит при слишком продолжительном брожении, в очень больших чанах, и, в первую очередь, при закрытом брожении. Это явление может наблюдаться у темных сортов пива или в пиве из очень сильно растворенного солода и может вызвать ухудшение вкуса пива в результате растворения горьких компонентов деки. Устранить этот недостаток может преждевременное удаление такой деки. Прежде пытались отделить завитки с помощью металлических

листов и воспрепятствовать попаданию горьких веществ в молодое пиво, но эти попытки потерпели неудачу из-за больших трудозатрат. В горизонтальных бродильных танках цилиндрической или кубической формы эти составные части деки пытались удалить путем установки специальной пеносборной камеры. В одной из модификаций ЦКТ удалось добиться отделения деки вместе с отложениями флотационной пены при помощи шаровых поплавков диаметром 20 см, однако при попадании в конусную часть в конце перекачивания пива на дображивание покрытие этих шаров стирается.

3.4.6. Степень сбраживания

Показателем хода брожения является степень сбраживания, которая отражает изменение экстрактивности по сравнению с начальным сушлом, то есть сколько сброжено экстрактивных веществ (в процентах). Для определения степени сбраживания требуется знать:

- экстрактивность начального сушла (в % масс.);
- экстрактивность на момент взятия пробы.

Степень сбраживания рассчитывают по приведенной ниже формуле.

$$\text{Степень сбраживания} = \frac{\left(\begin{array}{cc} \text{Экстрактив-} & \text{Экстрактив-} \\ \text{ность} & \text{ность в мо-} \\ \text{начального} & \text{мент взятия} \\ \text{сушла} & \text{пробы} \end{array} \right) \times 100}{\text{Экстрактивность начального сушла}}$$

Различают:

3.4.6.1. *Видимую степень сбраживания*, определяемую по показаниям сахарометра и отражающую «видимую» экстрактивность, которая вследствие содержания спирта в пиве (плотность спирта [20/4]

составляет $0,789 \text{ г/см}^3$) ниже, чем в действительности.

3.4.6.2. Действительную степень сбраживания, определяемую по «действительной» экстрактивности пива, которую определяют с помощью сахарометра (или более точно — пикнометрическим методом) после отгонки в лаборатории содержащегося в пиве спирта и замены его водой.

На практике обычно имеют дело только с видимой степенью сбраживания, поскольку ее определять проще, а для практических нужд ее достаточно.

Так как в пивоваренном производстве сбраживание экстракта происходит поэтапно, то степень сбраживания рассчитывают и определяют для каждого этапа. При этом различают степень сбраживания молодого пива (в конце главного брожения перед перекачкой на дображивание), степень сбраживания готового пива (в конце дображивания перед перекачкой нефилтрованного пива в отделение фильтрации) и конечную степень сбраживания.

Количественную разницу между этими степенями сбраживания необходимо знать с самого начала, для чего в лаборатории определяют конечную степень сбраживания (КСС) из которой выводятся оба других значения степени сбраживания.

3.4.6.3. КСС представляет собой максимально возможную видимую степень сбраживания (CC_v), которая достигается при сбраживании всех пригодных для него экстрактивных веществ, выраженную в процентах к общей экстрактивности сусле. Когда сусле подается в бродительный цех для внесения дрожжей, значение КСС уже известно, и на него не

влияют ни способ ведения брожения, ни вид разведенных в производственных условиях дрожжей.

Состав сусле определяется свойствами солода и технологическими мероприятиями в варочном цехе. Свойства солода, в свою очередь, зависят от сорта ячменя, района его возделывания и климатических условий в год сбора урожая. Для значения КСС важны все процессы солодоращения, способные изменить содержание амилазы в солоде — способы прорастивания, подвяливания и сушки (см. раздел 1.6). Способ затирания солода влияет на КСС благодаря продолжительности и степени температурных пауз, а также объему затора. Важно также значение pH, зависящее от качества солода и состава пивоваренной воды. Биологическое подкисление и кислый солод могут повысить КСС, как и выраженные паузы в ходе затирания при $62-65^\circ\text{C}$ (см. раздел 2.3.1.1). Подготовительные температуры ниже 60°C стимулируют действие β -амилазы, а клейстеризованные компоненты затора создают более благоприятные условия для действия этого фермента.

КСС должна быть определена как можно раньше, например, путем взятия пробы сусле после внесения дрожжей и ее сбраживания при температуре 25°C при частом взбалтывании. Известны также методы экспресс-анализа: так, например, с достаточной точностью определить конечную степень сбраживания можно уже через 6 ч с помощью вибратора и высокой нормы внесения дрожжей (около 15 %). Благодаря раннему выявлению КСС можно построить ведение брожения на достижение необходимой степени сбраживания молодого пива.

Для светлого лагерного пива КСС составляет от 78 до 82 %, а для экспортного

(*Exploit*), пльзеньского (*Pilsener*) и очень светлых сортов *Bockbier* — 80-85 %. У темных сортов пива КСС составляет 68-75 %.

3.4.6.4. Степень сбраживания готового пива определяют в конце дображивания (для обеспечения хорошей стойкости пива она должна быть максимально близка к КСС). У светлого лагерного пива она ниже КСС примерно на 2-4 %, у светлого экспортного пива — примерно на 0,5-2 %, а у пльзеньского пива (в зависимости от ведения дображивания) — на 0,5-6%. Темные сорта пива характеризуются разницей порядка 6 % (чем она выше, тем хуже пиво усваивается организмом). Если пиво передается в отделение фильтрации уже сброженным, то впоследствии при его продолжительном созревании без дображивания в лагерном отделении (где, возможно, поддерживается слишком высокая температура) оно может приобретать неудовлетворительный вкус. При низком содержании CO_2 такое пиво имеет пустой, негармоничный и менее «свежий» вкус. Если же дображивание вплоть до перекачивания на фильтрацию проходило в холодном лагерном отделении, то даже готовое пиво с высокими степенью сбраживания и КСС приобретает по сравнению с менее сброженным пивом более округлый вкус.

Степень сбраживания готового пива зависит от сбраживаемости суслу, от свойств дрожжей, от способов проведения брожения и дображивания, от разности между степенью сбраживания молодого пива и КСС, а также от того, перекачивалось ли в лагерные емкости молодое или осветленное пиво, то есть богатое или бедное дрожжами. Использование завитков при классическом способе дображивания зачастую обуславливает несколько повышенное остаточное

содержание экстрактивных веществ по сравнению с партиями пива, перекаченными на дображивание «по разности». Кроме того, важен температурный режим во время дображивания, как и температурная стойкость дрожжей, на которую, в свою очередь, положительное действие оказывает состав суслу и его аэрирование.

Разницу между степенью сбраживания молодого пива и КСС следует выбирать так, чтобы гарантированно достичь степени сбраживания готового пива. Для этого необходимо не только регулярно определять степень сбраживания готового пива, но и контролировать процесс дображивания, что позволит своевременно предпринять меры по их корректровке.

3.4.6.5. Степень сбраживания молодого пива определяют в момент перекачивания на дображивание. Обычно степень сбраживания молодого пива на 10-14 % ниже КСС, то есть светлое экспортное пиво с КСС 83 % следует перекачивать на дображивание при степени сбраживания молодого пива 70-73 %, а темное лагерное пиво с КСС 72 % — со степенью сбраживания молодого пива около 58 %. Брожение проводят таким образом, чтобы достичь указанных значений; если обычно сброженное светлое пиво смешивают с пивом в стадии низких завитков, то сбраживание в бродильном отделении должно проводиться еще в большей степени — так, чтобы смешанный экстракт молодого пива и завитков достигал указанной выше разницы. При перекачивании пива на дображивание определяющим является не только показание сахарометра, но и содержание дрожжей в молодом пиве, которое оценивают с помощью стеклянного стакана. Таким образом,

должно произойти совпадение обоих явлений, достигаемое путем проведения разных мероприятий и правильному ведению брожения. Повышение степени сбраживания молодого пива требует интенсивного аэрирования сусла, увеличения нормы внесения дрожжей (около 1 л/г), однократного или многократного внесения дрожжей доливом и осторожного охлаждения в противотоке.

Существуют дрожжи, менее восприимчивые к низким температурам и меньше реагирующие на резкое охлаждение. Кроме того, пылевидные дрожжи в меньшей степени подвержены влиянию низких температур. На степень сбраживания молодого пива влияют также форма, размер и степень обработки поверхности бродильных чанов; сбалансировать параметры различных бродильных емкостей можно при помощи стружки, которую добавляют в количестве 2-5 г/л при перекачивании из чана для разведения дрожжей в бродильный чан. В большинстве случаев ее применение интенсифицирует брожение (стружку можно удалить с помощью сит после окончания брожения).

3.4.7. Перекачка пива из бродильного отделения

После завершения главного брожения молодое пиво перекачивают в лагерное отделение на дображивание. Пиво готово к перекачке в тот момент, когда за последние 24 ч традиционного брожения (см. раздел 3.4.5.5) еще сбраживается от 0,2 до 0,5 % экстрактивных веществ; кроме того, определяют состояние продукта с помощью стеклянного стакана. В зависимости от степени прозрачности пробы пиво называется «молодым» или «осветлившимся».

Перекачка молодого пива вызывает быстрое, бурное дображивание, причем значительное падение экстрактивности наблюдается в начальной фазе дображивания. Ее применяют в холодных лагерных отделениях, при небольшой продолжительности дображивания и созревания, а также (вынужденно) для сусла из ячменя, собранного в жарких условиях. «Осветлившаяся», то есть бедная дрожжами поздняя перекачка при повышенных величинах степени сбраживания целесообразна для более теплых бродильных отделений и более продолжительном дображивании и созревании, так как в противном случае заданная КСС достигается слишком быстро и пиво приобретает указанные выше дефекты.

3.4.7.1. Температура пива, готового к перекачке, в конце главного брожения должна быть адаптирована к последующему процессу дображивания и составляет 3,5-5 °С (для пылевидных дрожжей — 2-3 °С). Более высокие температуры молодого пива сопряжены с риском — при перекачивании в холодное отделение дрожжи быстро охлаждаются, в результате чего дображивание будет протекать слишком медленно и вяло. Напротив, в теплых лагерных отделениях разница в экстрактивности относительно КСС сглаживается очень быстро. Более низкая температура готового к перекачке пива желательна в том случае, если необходимо выполнить принудительное осаждение дрожжей в бродильном отделении (как в случае с пылевидными дрожжами или хлопьевидными дрожжами для ячменя из урожая засушливых лет). Охлаждение пива между бродильным и лагерным отделением уместно проводить в том случае, когда пиво в бродильном отделении

уже сброжено почти до КСС, содержит мало дрожжей и для дображивания в него приходится вносить пылевидные дрожжи.

3.4.7.2. Анализ пива, готового к перекачке, сначала проводится путем дегустации, которая позволяет выявить дефекты и принять меры по их устранению. Помутнение, присутствующее в стакане после взятия пробы, должно исчезнуть в течение суток после оседания дрожжей. Сохраняющаяся опалесценция или мутность могут быть обусловлены неполным расщеплением белка или крахмала, и редко — биологическими причинами, которые можно затем выявить путем микробиологического анализа. Как правило, после предварительного исследования культуры под микроскопом задаточные дрожжи подвергаются анализу на наличие микроорганизмов, вызывающих порчу пива. Если результаты анализа отрицательные, то дрожжи можно использовать для внесения на производстве (в противном случае от них следует избавиться).

3.4.7.3. Перекачка молодого пива в лагерные танки (ранее — в бочки) осуществляется по шлангам или трубопроводам. При отсутствии естественного уклона или при транспортировке больших объемов используют насосы, которые во избежание потерь CO_2 должны работать плавно, без скачков. В дображиваемом пиве содержится (при традиционном брожении) почти 2 г CO_2 /л. Спуск молодого пива из чанов или танков осуществляется через сливные краны с устройствами для сцеживания. Они должны обеспечивать максимально возможный спуск пива без захвата дрожжей и хмелевых смол (прежде в пивопроводы устанавливали специальные сита для их улавливания).

3.4.8. Изменения в сусле в ходе брожения

В ходе брожения в сусле происходит не только расщепление сбраживаемых углеводов в спирт и CO_2 ; изменения претерпевают и другие группы веществ, имеющие большое значение для свойств пива — белки, хмелевые смолы, кислоты и т. д.

3.4.8.1. Концентрация ионов водорода в процессе брожения смещается от среднего значения рН начального сусла (5,2-5,7) до рН 4,35-4,65. Вследствие этого их концентрация в молодом пиве почти в 10 раз выше, чем в сусле. Это снижение значения рН вызывается образованием нелетучих и летучих органических кислот, а также сдвигом буферности в кислотную сторону. При этом значение рН собственно дрожжевых клеток поддерживается постоянным (на уровне 6,0).

Наиболее сильное снижение рН совпадает с фазой размножения дрожжей, что объясняется удалением фосфатов как буферных веществ, а также ассимиляцией аммиака из аминокислот. В ходе дальнейшего брожения снижение рН уменьшается и в последние дни брожения достигает определенного равновесия. Интенсивность и скорость кислотообразования зависят от свойств сусла (от буферности и содержания легко ассимилируемого азота), от используемых дрожжей и ведения брожения. Пылевидные дрожжи дольше остаются метаболически активными, чем хлопьевидные, и несмотря на медленное сбраживание способны сильнее снизить рН. Быстрое снижение значения рН, вызванное, например, повышенным внесением дрожжей (в количестве 25-30 млн клеток/1 мл сусла), может улучшить процессы осаждения — особенно гумми-веществ, с трудом

поддающихся фильтрованию. Значение рН до окончания брожения снижается сильнее, чем при обычном внесении дрожжей. При теплом брожении также происходит быстрое снижение рН, однако в конечном итоге в результате выделения щелочных аминокислот и вторичных фосфатов происходит повышение рН (примерно на 0,05-0,1), продолжающееся в лагерном отделении. Отдельные штаммы дрожжей ведут себя здесь по-разному. Скорость и степень снижения рН увеличивают и другие меры по ускорению брожения, в частности применение стружки и мешалок.

3.4.8.2. Азотсодержащие соединения. Изменения азотсодержащих веществ происходят в основном в ходе следующих процессов:

- ассимиляции низкомолекулярного азота для образования клеточного вещества;
- выделения высокомолекулярных белков как следствия снижения рН и, соответственно, изменения условий растворения и зарядов на образующихся поверхностях (пузырьках CO_2 и дрожжевых клетках);
- выделения дрожжами части ассимилированного азота (до 33 %);
- изменения степени дисперсности азотистых фракций благодаря повышению концентрации ионов водорода.

Уменьшение содержания общего азота, составляющего для чистого солодового пива около 300 мг/л, вызывается преимущественно ассимиляцией низкомолекулярного азота, которая, в свою очередь, зависит от штамма дрожжей, от ведения брожения и аэрации сусле. Играет роль и степень утилизации аминокислот. На выделение высокомолекулярного азота, а также на изменение

степени дисперсности белковых частиц влияет скорость и степень снижения рН, обусловленные опять же уже упоминавшимися факторами — штаммом дрожжей и ведением брожения.

3.4.8.3. Редокс-потенциал сусле (гН 20-26) в результате брожения снижается в молодом пиве до гН 8-12. Даже при очень сильной аэрации в начале брожения кислород в течение нескольких часов (обычно 3-5 ч) почти полностью потребляется размножающимися дрожжами. Слишком поздней дозировки воздуха или кислорода (например, в стадии низких завитков) следует избегать, так как это не только отрицательно сказывается на редокс-потенциале, но и вызывает изменение содержания побочных продуктов брожения (например, очень позднее достижение максимального содержания 2-ацетолактата, что проявляется в его вялом расщеплении и в повышенном содержании диацетила). Уменьшается и содержание сложных эфиров. Чем сбалансированнее состав сусле, чем активнее дрожжи, тем быстрее и сильнее происходит снижение гН во время брожения. Вследствие этого уменьшается также

ИТТ-индекс (с 250 в сусле до примерно 70 в молодом пиве), существенный как для физико-химической стойкости, так и для стабильности вкуса пива.

3.4.8.4. К побочным продуктам брожения относятся высшие спирты, сложные эфиры и альдегиды, вицинальные дикетоны — диацетил, 2,3-пентадион или их предшественники (2-ацетолактат и 2-гидроксипутират), а также ацетоин. Они образуются как продукты обмена веществ в ходе брожения и оказывают существенное влияние на аромат и вкус пива (см. раздел 7.4.2.2). Высшие спирты

образуются уже в начале брожения, причем максимальное их содержание быстрее достигается с хлопьевидными дрожжами, чем с пылевидными. При теплом брожении содержание побочных продуктов брожения выше, чем при холодном; сильное аэрирование при теплом брожении благодаря повышенному обмену веществ может вызвать увеличение их содержания.

На образование побочных продуктов существенно влияет и состав суслу. Следствием низкого содержания α -аминокислот является повышенное содержание сивушных масел. Повышенные нормы внесения дрожжей в сочетании с холодным брожением может снизить содержание этих веществ, если аэрирование в начале брожения не очень сильное. Высокие температуры брожения и брожение с перемешиванием способствуют образованию высших алифатических спиртов, а давление в 1-2 бар подавляет их образование, но доминирующую роль играет все же температура. При теплом брожении содержание 2-фенилэтанола существенно повышается (давление оказывает на его содержание незначительное воздействие). При повышенных температурах брожения повышается также содержание сложных эфиров, а давление в этом случае оказывает на них подавляющее действие. Образование сложных эфиров уменьшается в результате сильного размножения дрожжей, обусловленного мутным суслom с повышенным содержанием свободных ненасыщенных жирных кислот, а также продолжительным внесением семенных дрожжей доливом при соответствующей аэрации (см. раздел 3.2.6.2). Содержание альдегидов, как правило, при ускоренном брожении несколько снижается. Образование 2-ацетолактата (см. выше) увеличивается

с повышением интенсивности брожения, определяемой температурой, количеством дрожжей и содержанием кислорода; если в конце традиционного брожения содержание 2-ацетолактата достигает значений ниже 0,3 мг/л, то при использовании более высоких температур и дозировок дрожжей, а также при брожении под давлением отмечается ускоренное снижение его содержания. Эти же закономерности относятся и к содержанию ацетона.

3-4.8.5. Горькие вещества и полифенолы.

Благодаря снижению pH в ходе брожения коллоидные горькие вещества хмеля и полифенолы в результате приближения к своей изоэлектрической точке переходят из устойчивого состояния в неустойчивое и выделяются. Эти частицы переходят в деку с поднимающимися пузырьками CO_2 , причем около 20 % адсорбируются на поверхности дрожжевых клеток. Тем самым содержание в сусле горьких веществ хмеля уменьшается на 30-35 %. Вследствие своей нерастворимости при значениях pH ниже 5,0 оставшиеся неизомеризованными после процесса кипячения суслу кислоты почти полностью, то есть до содержания 0,5 мг/л, осаждаются; в осадок выпадают также часть изо- α -кислот (около 30 %) и гупулонов, которые таким образом теряются. Выделение горьких веществ различными штаммами дрожжей происходит параллельно интенсивности брожения. При ускоренных способах брожения обычно теряется больше горьких веществ, чем при классическом брожении. Брожение под давлением ослабляет удаление смол — при переходе от сбраживания в открытых чанах к брожению под давлением происходит опадание деки, и содержание фракций горьких

веществ вновь возрастает, что приводит в конечном итоге к снижению нормы внесения дрожжей на 10-20%. Для ЦКТБ, особенно с высоким уровнем жидкости, характерно пониженное (на 15-20 %) выделение горьких веществ.

Содержание дубильных веществ, в том числе антоцианогенов, снижается при брожении на 20-30 %, что имеет большое значение для полноты вкуса пива для его физико-химической стойкости. Выделение дубильных веществ происходит аналогично выделению горьких веществ.

3.4.8.6. Цветность. В ходе брожения цветность сула уменьшается из-за снижения рН, а также выделения меланоидинов, дубильных веществ и других красящих веществ в деку, дрожжи и дрожжевой осадок. Существенную роль играет также индикаторное действие дубильных веществ и меланоидинов. Снижение цветности может составить около 3 ед. ЕВС; на 4-5-е сут брожения этот процесс практически завершается.

3.4.8.7. Флокуляция дрожжей. В конце главного брожения разные типы пивоваренных дрожжей низового брожения ведут себя по-разному. Пылевидные дрожжи очень долго остаются во взвешенном состоянии и тем самым сохраняют интенсивный контакт с субстратом. Они осаждаются лишь тогда, когда экстрактивные вещества сула оказываются полностью или почти сброженными. Хлопьевидные дрожжи, напротив, флокулируют из молодого пива раньше — они агглютинируют, образуют взвесь и затем оседают плотным слоем на дне бродительного чана. Благодаря агглютинации уменьшается площадь контакта хлопьевидных дрожжей с субстратом, из-за чего ограничивается

обмен веществ и, следовательно, образование CO_2 .

Флокулирующая способность хлопьевидных дрожжей различна, но это свойство не совсем стабильно и зависит от свойств сула. Так, например, у солода из ячменя, выращенного и собранного во влажных климатических условиях, несмотря на высокую степень сбраживания происходит преждевременное образование взвесей горячего сула, что обусловлено действием определенного полисахарида. Напротив, солод из преждевременно созревшего ячменя способствуют «запылению» дрожжей, как и умягченная пивоваренная вода (обычно при более низкой КСС сула). Образование взвесей горячего сула может быть вызвано или улучшено Ca^{2+} -ионами, особенно при низком значении рН (менее 4,0). Флокулирующая способность дрожжей является генетическим признаком и может быть обусловлена одним или тремя генами. Она является доминирующей, то есть гибриды из флокулирующих и нефлокулирующих штаммов сохраняют флокулирующую способность. Путем определенных мутаций флокулирующие дрожжи могут превратиться в нефлокулирующие. Существует возможность добиться концентрации хорошо сбраживаемых, плохо флокулирующих промежуточных дрожжей путем сбора и внесения нижнего слоя осадочных дрожжей или за счет разведения исключительно дрожжевых клеток, находящихся к концу брожения во взвешенном состоянии.

Образование взвесей не всегда обусловлено электрическим зарядом дрожжевой клетки; большинство носителей заряда на поверхности клетки участвуют в хлопьеобразовании косвенно. Компоненты, управляющие флокуляцией, не связаны непосредственно с поверхностным

зарядом, более того, старая «теория заряда» представляется в настоящее время весьма спорной. Процессы, вызывающие флокуляцию, обусловлены строением клеточной стенки и зависят от локализованного там маннано-протеинового комплекса и содержания фосфатов. Содержание маннана у хлопьевидных дрожжей в конце брожения существенно меньше, чем у нефлокулирующих. Собственно маннан не обладает свойствами, способствующими флокуляции, — вероятнее всего, он связан с одной из групп, вызывающих флокуляцию. У хлопьевидных дрожжей в конце брожения содержание аминокислот возрастает на 30-40 % и повышается адсорбционная способность дрожжей.

3.4.9. Образование CO_2

Постоянное повышение требований к физико-химическому составу и вкусовой стойкости пива настоятельно диктует необходимость его розлива исключительно в атмосфере CO_2 . Совершенствование конструкции бродильных танков и закрытых бродильных чанов привело к возможности получения диоксида углерода, используемого также в производстве безалкогольных напитков.

По Баллингу, из 2,0665 г экстракта образуется 1 г спирта, 0,9565 г CO_2 и 0,11 г дрожжей. Соответственно, из 1 кг экстракта получается 0,464 кг CO_2 . Если исходить из массовой доли сухих веществ в начальном сусле 12 % и допустить, что действительная экстрактивность после брожения составляет 4,4 %, то из 7,6 кг экстракта образуется около 3,5 кг CO_2 /гл молодого пива. При брожении без применения давления из этого количества остается приблизительно 0,2 кг CO_2 /гл пива (в случае брожения под давлени-

ем — около 0,35 кг CO_2 /гл). Так как в начале брожения образуются потери вследствие наличия над пивом газа, а извлеченный CO_2 можно подвергнуть компрессии только при достижении определенной степени чистоты (0,85 кг/гл), то современные установки по рекуперации CO_2 позволяют получить 1,8-2,1 кг/гл (для бродильных чанов) и 2,1-2,5 кг CO_2 /гл молодого пива (для ЦКТ6).

Следует учитывать также расход CO_2 на корректировку содержания CO_2 в готовом пиве, на создание избыточного давления в танках и в установке розлива (1,8-2 кг/гл). Если улетающий из лагерных танков и танков для брожения пива под давлением избыточный CO_2 с высокой степенью очистки снова подать на рекуперационную установку, то расход CO_2 соответственно уменьшится, но потребуются увеличение производительности компрессора для подготовки отведенного CO_2 . Избыток CO_2 можно использовать для других целей, например, для розлива безалкогольных напитков.

3.4.9.1 • Установка рекуперации CO_2 . Диоксид углерода отводят из закрытых бродильных чанов. Открытые емкости накрывают крышками, изготовленными из того же материала, что и сами емкости. Крышки должны быть по возможности низкими и иметь форму, гарантирующую хорошее разделение воздуха и CO_2 , обеспечивая тем самым низкие потери CO_2 , с одной стороны, и максимально возможное свободное пространство для CO_2 , с другой. В самой высокой точке крышки монтируют вентиляционное устройство и устройство для отбора CO_2 . В закрытых емкостях необходимо наличие смотровых окон, термометров, пробоборных кранов и люков соответствующего

размера, позволяющих снимать деку. В бродильных танках, как горизонтальных, так и вертикальных, оптимальные условия для рекуперации CO_2 достигаются при заполнении танков на 75-80 %.

3.4.92. Установки по сбору, сжатию и сжижению CO_2 состоят из следующих узлов.

Пеноуловитель предназначен для отделения пены, уносимой с CO_2 . Диоксид углерода подается в уловитель тангенциально, ниспадающая пена разрушается с помощью воды и направляется в канализацию.

В *газомере* или *газгольдере* происходит выравнивание CO_2 , неравномерно отводимого из бродильного танка. Чтобы при максимальном давлении 10-20 мбар ресурс работы компрессора составлял не менее 10 мин, при использовании газового баллона и производительности компрессора 1 кг/ч в баллоне должно быть 0,15-0,5 м³ свободного объема. Преимущество этой системы состоит в отсутствии скачков давления, а недостаток — в большой занимаемой площади.

Установки с включением подпора работают с различным давлением в системе трубопроводов, служащей своего рода «буфером». Эта система применяется редко, так как бродильные емкости подвержены скачкам давления.

В установках с включением давления всасывания и «бустерным насосом» трубопровод также является своего рода буфером. Благодаря бустер-нагнетателю, установленному в начале сети трубопроводов, создается разница давления (около 1,1 бар), что позволяет увеличить емкость системы. Используемые коловратные пневмомоторы (обычно нагнетатель Рутса) являются довольно шумными и потребляют много энергии.

CO₂-компрессор, ядро системы сжижения при пониженном давлении, сжимает CO_2 до 15-20 бар, как правило, в две ступени. Благодаря несмазываемым узлам температура газа достигает 140-160 °С, несмотря на охлаждение цилиндров на стороне высокого давления. В компрессорах с водяным охлаждением в главный цилиндр впрыскивается холодная вода, которая на стороне высокого давления улавливается осушителем. В этом случае температура газа ниже 45 °С.

Промежуточный охладитель после контура низкого давления и дополнительный охладитель после контура высокого давления служат для охлаждения газа.

Очистка и сушка распространяется на четыре фракции:

Водорастворимые загрязнения (например, спирты, иные побочные продукты брожения, сернистые соединения) удаляются путем вымывания водой. В большинстве случаев водяные скрубберы устанавливаются между газгольдером и компрессором. Наполнителем в них служат керамические шарики, известняк или частицы полимерных материалов. Расход воды в 3-5 раз выше массы газа: потребление электроэнергии составляет 5-10 кВт·ч/т CO_2 .

Водонерастворимые вещества удаляются путем адсорбции (с помощью активированного угля или силикагеля). Монтаж на агрегатах, работающих без смазки, производят перед компрессором, а у компрессоров с водяной смазкой — на стороне высокого давления. Особое внимание следует обращать на время загрузки и регенерации.

Собственно *вода* удаляется в сушильных башнях с помощью силикагеля, активированного угля или молекулярных сит. Точка росы должна составлять -40 °С,

соответственно 0,1 г воды /кг CO_2 , так как иначе в конденсаторе и накопителе жидкости образуется лед.

Неконденсирующиеся газы удаляют только при сжижении CO_2 в самой высокой точке конденсатора CO_2 .

Фильтр тонкой очистки (из керамики или металлокерамики) предназначен для удаления мельчайших абразивных частиц. Благодаря очистке и сушке гарантируется степень очистки 99,9 % по жидкой фазе. При этом, однако, необходимо обеспечить не только степень очистки, но и отсутствие запаха дрожжей, масла и прочих посторонних запахов, поскольку в противном случае оставшиеся 0,1 % веществ могут испортить вкус и аромат пива (например, диацетил). Для оценки степени чистоты используют газовую хроматографию.

Сжижение CO_2 происходит путем охлаждения с помощью холодильных установок до температуры $-20\dots-30^\circ\text{C}$ (с давлением 15–20 бар). Так как в таких холодильных установках используются более низкие температуры испарения (от -33 до -38°C), чем на пивоваренных производствах, то применяются децентрализованные холодильные установки, работающие на фреоне 502 (благодаря смазочному маслу этот хладагент лучше, чем F22). Потребление электроэнергии составляет около 110–130 кВт · ч/т CO_2 , а расход воды — от 10 до 15 м³/т CO_2 .

В *танке низкого давления* CO_2 хранится в жидком состоянии при давлении 16–19 бар (необходима хорошая изоляция). Размеры танка низкого давления определяются по объему CO_2 , образующемуся к концу недели. С помощью CO_2 -испарителя с редукционным клапаном CO_2 доводят до комнатной температуры и давления 2–4 бар. В эту систему может быть интегрирован буферный

танк для газообразного CO_2 , чтобы не увеличивать размер испарителя и компенсировать внезапный большой объем отбора CO_2 .

Диоксид углерода, образующийся при брожении, начиная с чистоты 97 % уже не содержит кислорода, а только азот. Таким образом, отсутствует опасность старения пива при карбонизации, но в этом случае могут возникнуть проблемы в ходе розлива. Нижняя граница степени чистоты поэтому должна составлять 99,7 %.

3.4.9.3. Контроль рекуперированного CO_2 должен проводиться как микробиологически (выявление дрожжей, молочнокислых бактерий и других бактерий-вредителей пивоваренного производства, кишечной палочки, колиформных микроорганизмов), органолептически (в CO_2 не должны присутствовать посторонние ароматические вещества), так и методами теххимического анализа. В CO_2 не должно быть хлора, HCl , H_2S , NO_2^- , NO_3^- , цианидов и фенолов; содержание масла не должно превышать 5 мг/кг, углеродородов — 0,1 мг/кг, а содержание CO и метана - 0,01 %.

3.4.9.4. Влияние рекуперации CO_2 на брожение незначительно. Ход брожения, размножение дрожжей, кислотообразование не отличаются от брожения в открытых чанах. Завитки менее компактны вследствие действующего на них давления; при снижении экстрактивности чуть более 0,5 % в сутки благодаря своевременному сбросу давления в чане или танке стимулируется образование плотной деки, которую можно снять позже, примерно через 20 ч. В бродильных танках эту деку можно осадить на боковых стенках или в конусной части.

3.4.9.5. Производительность и габариты установки рекуперации CO₂. При максимальном выпуске 10000 гл пива/мес. требуется компрессор производительностью 50 кг/ч. Танк для хранения в зависимости от образования CO₂ к концу недели должен вмещать объем, превышающий производительность компрессора в 100-150 раз. Необходимо также учитывать компрессию отводимого диоксида углерода (при классическом брожении ее в расчет не принимают).

3.4.9.6. Затраты на рекуперацию CO₂ на собственном производстве ниже, чем на закупку CO₂ в цистернах или баллонах. Общий расход энергии и воды на 1 т сжиженного CO₂ составляют: 140-170 кВт·ч, 8-12 кг насыщенного пара, 10-15 м³ воды. Общие издержки на получение CO₂ на собственном производстве исчисляются в зависимости от размера установки с учетом амортизации, стоимости монтажа, а также трудозатрат.

3.5. Дображивание и созревание пива

Классическое дображивание (в отделении дображивания) производится в цехах:

- сбраживания экстрактивных веществ, сохранившихся после главного брожения;
- насыщения пива диоксидом углерода;
- естественного осветления пива благодаря осаждению дрожжей и других веществ;
- созревания, улучшения и округления вкуса пива.

Для получения качественного пива дображивание должно протекать медленно и стабильно. Проводят его в закрытых

танках дображивания, размещаемых в охлаждаемых, хорошо изолированных помещениях (должна быть предусмотрена возможность изменения температуры в пределах от +3 до -2 °С).

Между классическим дображиванием и описанным в разделе 3.6.3 созревани-ем, включая холодное созревание, существует большое количество промежуточных фаз, которые в большинстве случаев определяются возможностями танков с автономным охлаждением, применением сепараторов для молодого пива, а также внешних охладителей.

3.5.1. Отделение дображивания (лагерное)

Помещения лагерного отделения должны быть холодными, сухими и чистыми; температура в них, как мы уже отмечали выше, должна автоматически регулироваться в диапазоне от +3 до -2 °С (для особых способов хранения требуется несколько больший интервал температур).

3.5.1.1. Отделение дображивания прежде располагали ниже поверхности земли, чтобы по возможности уменьшить влияние внешних тепловых воздействий. В настоящее время лагерные отделения размещают в сооружениях с соответствующей изоляцией, иногда оснащаемых теплоотражающими поверхностями и искусственным охлаждением. Располагают их между бродильным цехом, отделением фильтрации и цехом розлива, чтобы благодаря снижению длины трубопроводов облегчить их мойку и дезинфекцию.

3.5.1.2. Охлаждение отделений дображивания производилось прежде с помощью естественного льда (лагерные подвалы

с торцевой, боковой или верхней засыпкой льда). В настоящее время его осуществляют исключительно охлажденным раствором или хладагентом с прямым испарением (NH_3). При косвенном охлаждении системы из оцинкованных цельнотянутых труб для хладагента (отбортованных или оребренных) монтируют или на потолке отделения над проходами, или на боковых стенах друг над другом. Имеющаяся влага осажается в виде инея в основном на этих трубах, которые для поддержания охлаждающего действия системы необходимо еженедельно оттаивать. Следует позаботиться о регулируемом отведении талой воды, например, с помощью перфорированных лотков. В хорошо изолированных сухих отделениях дображивания, которые необходимо не только охладить до $-2\text{ }^\circ\text{C}$, но и поддерживать эту температуру, в течение 24 ч требуется 3550-4200 кДж (850-1000 ккал)/ m^2 площади. Количество тепла, высвобождающегося при дображивании, составляет 630-750 кДж (150-180 ккал)/гл 12 %-ного пива (при условии необходимости дображивания около 1% экстрактивных веществ). Кроме того, охлаждение пива с температуры перекачивания ($4\text{ }^\circ\text{C}$) до температуры отделения дображивания ($-1\text{ }^\circ\text{C}$) требует 2100 кДж (500 ккал). Охлаждение циркулирующим воздухом применяется, как правило, в больших отделениях и отделениях с танками, установленными на седлообразные ложементы, так как при косвенном охлаждении разница температур между полом и танком на ложементе может составлять до $2\text{ }^\circ\text{C}$. Тем не менее подвод воздуха должен осуществляться так, чтобы он равномерно поступал ко всем танкам без нарушения естественной конвекции содержимого танка. Особенно целесообразно применять циркуляцию воздуха для

лагерных танков с обмуровкой торцевых стенок, поскольку при этом можно использовать более высокую скорость потока воздуха и повышенную температуру в проходе для обслуживания.

При внутреннем охлаждении вместо охлаждения помещения отделения дображивания охлаждается пиво в отдельных танках при помощи медных труб или труб из нержавеющей стали. В качестве хладагента применяют разведенный спирт или специальный рассол. Внутреннее охлаждение, используемое прежде всего для бетонных танков, требует меньшего количества хладагента и тем самым оно более экономично, чем охлаждение всего помещения дображивания. Тем не менее во избежание нарушения процесса дображивания и осветления проводить его необходимо добросовестно и под контролем. Освободить танки от встроенных деталей, сохранив возможность их автономного охлаждения, позволяет охлаждение водяной рубашкой (в бетонных танках) или с помощью обечайки (в металлических танках). Последний тип охлаждения при наличии достаточной площади можно реализовать позже, смонтировав специальные охлаждающие карманы.

3.5.13. Требования к отделениям дображивания. Наряду с хорошей изоляцией стены и потолки отделений дображивания должны быть покрыты ровным слоем штукатурки (стены зачастую облицовывают керамической плиткой). Пол должен быть гладким, без швов. Помимо асфальта хорошо зарекомендовали себя некоторые виды полимерных материалов, а также кислотостойкие покрытия из плит. Чистота, свежесть и сухость воздуха обеспечивается надежной канализацией с достаточным количеством стоков и правильным уклоном пола.

3.5.1.4. Системы трубопроводов для перекачки молодого пива, его передачи на фильтрацию и т. д. должны быть изготовлены из металла (желательно из стали V2A) и иметь диаметр, предотвращающий слишком высокие расход и давление. Собственно соединение с танком целесообразно выполнять короткими резиновыми шлангами.

3.5.1.5. Размер отделения дображивания зависит от количества дображиваемого пива, продолжительности дображивания и использования всей площади. Для пива низового брожения в условиях нормальных объемов производства (зимой и летом в соотношении 1 : 1,5) необходимая площадь отделения дображивания должна рассчитываться исходя из 1/5 объема производства, а при более высоких пиковых нагрузках и производстве разных сортов пива — еще больше. Продолжительность дображивания и созревания пива в течение 5-8 нед. (у специальных сортов пива даже дольше) и в настоящее время считается гарантией хорошего однородного качества пива. Важно, чтобы отделение дображивания было разделено на отдельные зоны, размер которых позволял бы в течение одной недели опорожнять, проводить мойку и снова заполнять все отделение дображивания (на небольших производствах иногда возможен интервал в 2 нед.). Отделения дображивания, способные вмещать весь производимый на предприятии объем пива, нецелесообразны, так как свежеперекаченное и готовое пиво в этом случае хранятся рядом, а это может негативно сказаться на процессе дображивания.

Приведенные выше данные о продолжительности дображивания и созревания могут показаться устаревшими, но следует помнить, что при классическом

созревании и выдержке в традиционных лагерных отделениях процессы труднее регулировать, чем в современных танках дображивания, где предусмотрены соответствующие средства регулировки. Дображивание (созревание), как мы увидим далее, начинается при более низких температурах и поэтому протекает дольше. Увеличение продолжительности дображивания вызывается также охлаждением пива до температуры отделения холодного созревания (ниже 0 °C), для чего необходимо выдержать определенный минимальный срок.

3.5.2. Емкости для дображивания (лагерные танки)

Емкости для дображивания (деревянные бочки или танки) изготавливаются из того же материала, что и бродительные чаны, однако выполняются закрытыми. Как правило, они имеют горизонтальную компоновку, но крупные установки (например, танки, монтируемые вне помещений) могут устанавливаться вертикально. Размер и форма танков определяется материалом.

3-5.2.1. Деревянные бочки для дображивания имеют объем до 150 гл. Использование площади помещения даже при укладке бочек в седла на два уровня составляет лишь 25-35 %. Затраты труда на обслуживание, чистку, содержание бочек (включая их ремонт вне бродильного цеха и осмолку) очень высоки, а нарушение герметичности может вызвать инфицирование пива. Бесспорное преимущество деревянных бочек состоит в том, что благодаря слабой теплопроводности древесины происходит постепенное охлаждение пива с температуры

перекачивания до температуры отделения дображивания. В результате дображивания начиналось интенсивнее, протекало быстрее, а осветление заканчивалось раньше.

3-5.2.2. Металлические танки из алюминия и его сплавов (AlMn, AlMgMn), а также из стали, плакированной сталью V2A, позволили почти на 50 % улучшить использование площади помещений для дображивания по сравнению с деревянными бочками. *Форма* металлических танков обычно представляет собой вытянутый в длину цилиндр с выпуклым днищем. Танк оснащается люком с резиновым уплотнением, кранами для отбора проб со штуцерами для фильтрования, а также шпунтаппаратом с регулятором давления. Рядом с краном для отбора проб целесообразно установить термометр для измерения температуры пива. *Размер* танков для дображивания определяется на небольших предприятиях объемами варок, а на крупных пивоваренных производствах — объемом фильтруемого за один раз пива одного сорта. Следует избегать ситуации, когда из-за неверно выбранного размера танка пиво остается под воздушной подушкой. Так, например, размер лагерных танков при условии сохранения необходимой прочности может составлять 2000 гл и более (такие танки приходится доставлять по секциям и монтировать уже на предприятии), что возможно только при применении алюминия, его сплавов и стали V2A, но не для стальных эмалированных танков. В последнее время полимерную облицовку можно непосредственно в производственных условиях наносить на листовую сталь после ее пескоструйной обработки. Диаметр танка может составлять до 3,5 м. Возможна также *установка*

танков ярусами — для танков из алюминия и стали V2A используются или кольцевые опоры, или (у больших танков) собственная несущая рама, а стальные танки можно устанавливать непосредственно друг на друга. Для алюминиевых танков необходимы изоляция и алюминиевое покрытие седлообразных ложементов (это справедливо также для танков, выполненных из сплавов). Вертикальные танки могут иметь весьма внушительные размеры — например, танки, размещаемые вне помещения, имеют объем до 5000 гл.

Алюминиевые танки могут быть любых размеров, поскольку их можно собирать непосредственно на производстве. Они хорошо выдерживают обычное рабочее давление (избыточное давление менее 1 бар). При их опорожнении следует избегать возникновения вакуума. В целях защиты от коррозии их снаружи окрашивают специальными красками. Танки из алюминиевых сплавов, например, из AlMn и AlMgMn, прочнее алюминиевых, поэтому их стенки тоньше.

Стальные танки с покрытием из эмали имеют емкость до 4000 гл, и их необходимо вносить в лагерное отделение целиком. Наличие полимерной облицовки позволяет сваривать стальные танки на предприятии. Перед нанесением такой композиции на поверхность танка ее необходимо подвергнуть пескоструйной обработке. *Нержавеющая сталь* (V2A) не подразумевает ограничений на габариты танка (см. раздел 3.4.2.2).

Благодаря размерам металлических танков и возможности автоматической мойки их эксплуатация является довольно экономичной, но при этом не следует забывать о необходимости регулирования температуры пива в соответствии с ходом процесса дображивания.

3.5.2.3. Бетонные танки обеспечивают высокую степень использования площади помещения (до 85 %). У танков прямоугольной, квадратной или иной формы скругленные внутренние поверхности углов покрывают специальной облицовкой на основе композиций воска или смол. В случае нового строительства танк можно сооружать параллельно возведению зданию. Благодаря высокой прочности бетонных танков их можно размещать друг над другом в несколько этажей. Охлаждение пива при этом осуществляется с помощью внутренних охладителей или труб со специальным хладагентом, проложенных в изолированных перегородках. В настоящее время предпочитают охлаждению водяной рубашкой, так как оно облегчает автоматическую мойку танка. Бетонные танки чувствительны к слишком высокому давлению (избыточное давление более 1 бар), вызывающему образование микротрещин, в которых скапливаются инфицирующие пиво микроорганизмы. При изготовлении такого танка необходимо соблюдать требуемые нормативы на схватывание бетона.

3.5.2.4. Батарея из танков. Емкости из алюминия или нержавеющей стали, смонтированные ярусами, можно объединить в более крупные модули в виде батареи из танков. Рядом с передней и задней стенками в обечайку монтируют соединительные трубы, которые для танка вместимостью 100 гл должны иметь живое сечение спереди 65 мм, а сзади — 25 мм. На верхнем танке монтируют газовую арматуру, а на нижнем устройство заполнения и слива. Преимуществами такой конструкции являются снижение трудозатрат, надежность в эксплуатации (заполнение только один раз вместо двух- или

трехкратного) и пониженное поглощение кислорода.

3.5.2.5. Вертикальные танки также используют для дображивания: для этого подходят ЦКТ, а также танки с плоским или плоскоконическим днищем (см. раздел 3.4.2.5). В них лучше используется общий полезный объем, составляющий до 5000 гл. Учитывая высоту, которая может достигать до 15 м, требуется проведение определенных мероприятий по регулированию содержания CO_2 ; в «Асахитанках» (см. раздел 3.4.2.6) специальное устройство обеспечивает смешивание верхних (бедных CO_2) и нижних (богатых CO_2) слоев. Благодаря индивидуальному охлаждению танка можно эффективно регулировать температуру при дображивании и снижении экстрактивности. Охлаждение стимулирует конвекцию, поддерживаемую кратковременной продувкой CO_2 . Благодаря изоляции танка и наличию индивидуального охлаждения удобно поддерживать режим низких температур с небольшими потерями тепла на излучение. Для предотвращения теплового излучения конусную часть танка необходимо охлаждать. В настоящее время такие габариты танков, первоначально казавшиеся непрактичными, хорошо зарекомендовали себя на практике.

Вертикальные танки пригодны как для классической технологии дображивания, так и для проведения холодного созревания и хранения.

3.5.3. Дображивание

3.5.3.1. Перекачивание в емкости для дображивания производится после их мойки и дезинфекции. Пиво должно поступать в лагерные емкости равномерно во

избежание чрезмерного пенообразования (и, тем самым, потерь CO_2) и захвата воздуха. Наиболее целесообразной представляется перекачка снизу (заполнение сверху уже не используется даже для деревянных бочек). Наполнение танка производится, как правило, не за один раз — за счет смешивания и заполнения доливаемой пытаются нивелировать различия по составу отдельных варок (по крахмалу, степени сбраживания, цвету и вкусу) и, таким образом, обеспечить, насколько возможно, одинаковое качество пива. Такое «купажирование» в отделении дображивания положительно отражается и на партиях пива, сброженных разными дрожжами.

Внесение пылевидных дрожжей (от 20 до 50 %) дает высокую степень сбраживания, однако в целях предотвращения окисления желательно быстро заполнить первую половину танка, а оставшееся количество пива доливать в течение нескольких суток. Допускается смешивание только хороших партий пива — бракованные партии подлежат специальной обработке, в частности, адсорбентами (см. раздел 7.4.3.4). *Температура в отделении дображивания* при перекачке пива должна поддерживаться на уровне 2-3 °С, и если *температура пива* составляет 3,5-4,5 °С, то не исключено быстрое его «схватывание». В помещениях, не оборудованных системой автономного охлаждения, заполнение танков, пусть даже из разных варок, должно проводиться за один день во избежание температурного «шока» доливаемых позже партий. В этом случае перекачивание пива на дображивание можно начинать с температуры 5 °С, а при перекачивании в течение нескольких суток — с 3 °С. Распределение пива по танкам, как и завитки, рекомендуется проводить с помощью

измерительных приборов (например, счетчиков с овальными шестернями, поршневых насосов-дозаторов или индукционных счетчиков). Отдельную партию уже во время перекачивания желательно пропускать через распределительную станцию так, чтобы каждый танк заполнялся пивом с одинаковыми свойствами (количеством дрожжевых клеток, экстрактивностью, температурой и т. д.). При перекачивании из крупных бродильных чанов в небольшие танки дображивания потребуются определенные затраты на трубопроводы или шланги. После перекачивания последней варки емкости для дображивания должны быть полностью заполнены и зашпунтованы.

3.5.3.2. После перекачивания на дображивание под влиянием перемещения пива и взмучивания дрожжей интенсивно продолжается *снижение экстрактивности*, которое в последние сутки главного брожения составляло 0,2-0,5 %. Такое «ускоренное» дображивание продолжается при соответствующих температурах 2-3 сут. За это время экстрактивность снижается на 0,5-0,6 %, то есть вдвое относительно количества экстракта, поступившего из бродильного в лагерное отделение. Слишком длительное поддержание этого интенсивного дображивания приводит к быстрому достижению КСС, брожение приостанавливается, и пиво пребывает в лагерном танке без каких-либо изменений. К такому «ускоренному» дображиванию приводят слишком высокие температуры в отделении дображивания при перекачивании молодого (дрожжевого) пива, использование пылевидных дрожжей и т. д. — в результате недостаточно связывается CO_2 и возникает резкий незрелый, дрожжевой вкус пива. В процессе последующего

«спокойного» дображивания снижение экстрактивности должно продолжаться медленно и равномерно даже при низких температурах в конце дображивания и созревания пива. Только таким образом происходит связывание достаточного количества CO_2 и протекают разнообразные процессы, которые называют «созреванием пива». При вялом дображивании эта цель не достигается, для пива будет характерна недостаточная стойкость пены, отсутствие «свежести» и округлости вкуса.

Правильный ход дображивания зависит от количества сбраживаемого экстракта, количества и физиологического состояния дрожжей в молодом пиве, и, наконец, от условий дображивания (в первую очередь, от температуры). Экстракт, подлежащий дображиванию, примерно на 80 % состоит из мальтозы и на 20 % — из плохо сбраживаемой мальтотриозы (в 12 %-ном пиве его содержится 1,2-1,4 %). Если количество экстракта очень невелико, то дображивание также протекает вяло; если же в отделение дображивания поступает пиво с большим содержанием экстракта, то несмотря на интенсивное начало дображивания под действием последующих низких температур оно быстро прекращается и требуемая степень сбраживания готового пива уже не достигается. Это означает, что снижение экстрактивности, не достигнутое в бродильном отделении, невозможно полностью компенсировать в отделении дображивания.

Количество дрожжей и интенсивность брожения также имеют большое значение для дображивания. Если на дображивание перекачивается осветленное, то есть бедное дрожжами пиво, то оно начинается вяло. То же происходит при использовании малоактивных дрожжей.

Слабое дображивание зачастую дают даже активные хлопьевидные дрожжи — они очень быстро флокулируют и оседают.

Иногда в отделение дображивания поступает пиво с высоким содержанием экстракта и низким количеством дрожжей. Это бывает при использовании дрожжей со слабой способностью к сбраживанию или солода из ячменя, собранного в аномальные годы. В таком случае нормальное дображивание возможно лишь при внесении пылевидных дрожжей или при последующей замене дрожжей. Пылевидные дрожжи всегда дают «зеленое» молодое пиво, дображивание которого заканчивается слишком рано; оптимальное дображивание достигается лишь путем смешивания с хлопьевидными дрожжами. Пылевидные дрожжи для сбора помещают в промежуточные танки с температурой около 2 °С, а через 7 сут их смешивают с хлопьевидными дрожжами. Кроме того, интенсивность дображивания существенно зависит от состава первоначального суслу (особенно от содержания в нем аминокислот и Сахаров), а также от степени его аэрирования перед брожением.

Что касается *внешних условий дображивания*, важны прежде всего способ перекачивания и метод перемешивания. Темпы снижения экстрактивности зависят от согласования температур. Важнейшим фактором является температура пива, которая при перекачивании может составлять 2-5 °С. По завершении ускоренного дображивания ее необходимо снижать на 1 °С в неделю вплоть до достижения температуры -1,5 °С. Благодаря этим мерам можно избежать слишком быстрого сбраживания экстракта.

Действенной мерой для оптимального и равномерного ведения дображивания является *оживление дображивания*

пивом в стадии низких завитков. Изначально этот способ применялся в экстренных случаях, но в качестве опробованной технологии с его помощью можно сбалансировать различия в содержании экстракта и дрожжей в отдельных партиях молодого пива. Кроме того, завитки наряду с активными дрожжевыми клетками вносят в дображиваемое пиво аминокислоты и сахар. Использование этого метода целесообразно только в том случае, если завитки характеризуются степенью сбраживания 20-25 % и вносятся в количестве 8-12 % сразу же при полном заполнении танка. Рекомендуется использовать завитки из пылевидных дрожжей, так как с ними даже при низких температурах в отделении дображивания легче получить высокую степень сбраживания готового пива. Позднее оживление дображивания пивом в стадии низких завитков проводят обычно в том случае, когда дображивание прекратилось, по содержанию диацетила в пиве еще достаточно высоко или пиво имеет неудовлетворительный вкус. При этом существует риск, что дрожжи в фазе завитков в холодном пиве испытают температурный шок, вследствие чего не произойдет полного уменьшения содержания диацетила и у пива будет дрожжевой незрелый привкус. Оживление дображивания пивом в стадии низких завитков следует рассматривать лишь в качестве крайнего средства улучшения недостаточного выделения CO₂, пеностойкости и проводить осторожно при надлежащем контроле.

Температурные режимы в отделении дображивания и остаточное содержание экстракта представлены в табл. 3.1.

Степень сбраживания готового пива светлых сортов (см. раздел 3.4.6.4) должна быть тем ближе к КСС, чем большую стойкость пива требуется получить. У светлого лагерного пива и массовых сортов пива разница между КСС и степенью сбраживания готового пива составляет 2-4 % для темных сортов пива достаточно разницы 6 %; светлое экспортное пиво иногда сбраживают до разницы в 0,5 % или даже до КСС; пиво типа *Pilsener* в зависимости от способа внесения завитков и ведения дображивания характеризуется разницей 0,5-6 %. Следует отметить, что повышенная разница между КСС и степенью сбраживания готового пива не идет на пользу полноте вкуса — пиво при известных условиях приобретает менее элегантный и размытый вкус.

3.5.3.3. Насыщение пива диоксидом углерода. Содержание CO₂ в пиве имеет большое значение для полноты вкуса и полезности пива. Пиво, бедное CO₂, характеризуется «пустым» вкусом и другими дефектами. Диоксид углерода служит также для пенообразования, пеностойкости и биологической стабильности пива. Он подавляет развитие чужеродных микроорганизмов и является наряду со спиртом и горькими веществами хмеля естественным консервантом пива. Кроме того, высокое содержание CO₂

Таблица 3.1. Температура пива и остаточное содержание экстракта в зависимости от продолжительности дображивания

Продолжительность дображивания, сут	0	3	7	14	21	35	49	63
Температура пива, °С	4,5	3,0	2,7	1,0	0,0	0,7	-1,0	-1,3
Остаточное содержание экстракта, %	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

косвенно способствует улучшению физико-химической стабильности пива благодаря уменьшению захвата воздуха при розливе.

Связывание диоксида углерода осуществляется по-разному в зависимости от интенсивности дображивания, температурных режимов и состава пива. Помимо общего содержания CO_2 важен также тип его связывания при розливе в бутылки или продаже в розлив. Желательное содержание CO_2 при розливе из бочки составляет порядка 0,44 % (при наличии компенсаторов — около 50 %), а у бутылочного пива оно еще выше. насыщение диоксидом углерода осуществляется исключительно путем физического связывания. Вопреки прежним представлениям связывание CO_2 практически не влияет на коллоиды пива — определяющими факторами связывания CO_2 в пиве являются температура и давление. Чем ниже температура, тем больше может быть растворено CO_2 . Снижение температуры на 1 °C обуславливает при одинаковом давлении повышение содержания CO_2 на 0,01 %, тогда как повышение давления на 0,1 бар способно связать на 0,03 % больше CO_2 . Как мы покажем далее, связывание CO_2 важно также для пеностойкости пива — чем она выше, тем медленнее улетучивается CO_2 из пива вследствие сопротивления пенной шапки.

Шпунтование. Закупоривание емкости для дображивания называется шпунтованием, а возникающее при этом давление — давлением шпунтования. Прежде в процессе ускоренного дображивания бочки не закупоривали, из заполненных до краев емкостей вытекала пена, содержащая горькие вещества хмеля, а также белковые и дубильные соединения, и лишь во время спокойного дображивания (за 2-3 нед. до выпуска) бочки закупоривали

деревянными шпунтами. Возникающие при этом давления были неизвестны, и зачастую происходило как недостаточное связывание CO_2 , так и чрезмерное.

В настоящее время для шпунтования применяют шпунтаппараты, позволяющие поддерживать определенное давление в емкости в течение всего срока дображивания. Шпунтаппаратами служат ртутные или водяные шпунтаппараты, работающие по принципу сообщающихся сосудов. Первые из них наполняют до определенной высоты ртутью и соединяют шлангом шпунтовое отверстие и содержимое бочки или танка. Давление в лагерьной емкости действует на ртуть или воду, находящуюся в шпунтаппарате, и вытесняет ее. При превышении давления, заданного в шпунтаппарате, обусловившее его избыточное количество CO_2 отводится через аппарат. Хороший шпунтаппарат должен реагировать как на малейшее избыточное давление, так и обеспечивать равномерную эмиссию диоксида углерода при большом потоке газа. Применяют также мембранные клапаны, которые можно отрегулировать на требуемое давление путем изменения усилия пружины.

Танки дображивания могут быть подключены к отдельным шпунтаппаратам (*индивидуальное шпунтование*) или к одному шпунтаппарату для нескольких танков (*групповое шпунтование*). Первый способ лучше подходит для крупных танков дображивания, поскольку поступает точная информация о ходе дображивания, о насыщении пива CO_2 и фактическом давлении шпунтования в емкости. Для небольших танков дображивания чаще применяется групповое шпунтование, позволяющее сократить количество шпунтаппаратов и упростить схему контроля, однако оно не дает представления

о давлении шпунтования и интенсивности дображивания в каждой емкости (для группового шпунтования требуется шпунт-аппарат особой конструкции).

Растворимость CO_2 в пиве при определенных условиях приведена в табл. 3.2.

Для связывания диоксида углерода имеет значение не только давление шпунтования, но и его *продолжительность*. Шпунтование должно проводиться во время интенсивного дображивания — чем больше экстракта сбраживается в этот период, чем ниже при этом температура в отделении дображивания, тем выше содержание CO_2 в пиве. Бедное дрожжами, глубоко сброженное в бродильном отделении пиво необходимо своевременно шпунтовать. Это же относится и к вяло сброженному пиву, а также к темному и разливному пиву (массовая доля сухих веществ начального сусла 7-8 %). Кроме того, для достижения необходимого давления шпунтования имеет значение степень заполнения емкости для дображивания.

В настоящее время танки дображивания заполняют, оставляя небольшое пространство (1-2 % от общего объема) и сразу шпунтуют. При надлежащих свойствах молодого пива, перекачиваемого на дображивание, установленное давление шпунтования достигается через 2-3 сут. Так как содержание CO_2 в бочковом пиве для его беспрепятственного розлива может составлять только 0,44 %, то при температуре пива -1°C желательная

величина давления шпунтования составляет 0,25 бар, а при использовании компенсаторов и для бутылочного пива (содержание CO_2 — 0,50 %) — 0,5 бар. Это требует отдельного шпунтования бочкового и бутылочного пива, что уже реализовано на некоторых предприятиях. Нашло применение также шпунтование с понижающимся давлением (например, с 0,8 до 0,4 бар) в сочетании с использованием мембранных шпунтаппаратов. В этом способе делается попытка связать CO_2 , образующийся во время интенсивного дображивания в условиях еще высоких температур пива, и путем постепенного снижения давления довести его до уровня давления готового пива.

Если в емкости для дображивания не достигается или отсутствует давление шпунтования, то причиной этого могут быть неплотности в танке, шпунтовой арматуре или собственно шпунтаппараты. В случае очень слабого дображивания можно применить *оживление брожения пивом в стадии низких завитков* (см. раздел 3.5.3.2).

Если перекачка пива на дображивание осуществляется в идеальных условиях (температура около 4°C , 12 % завитков), а температура быстро снижается в зависимости от хода дображивания, то есть становится ниже 0°C в течение примерно 2 нед., а спустя еще неделю достигает значения -1°C или ниже, то при такой технологии содержание CO_2 будет выше, чем указано в табл. 3.2. При низких

Таблица 3.2. Давление шпунтования, температура пива и содержание CO_2 в пиве, г/л

Избыточное давление, бар	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Температура пива:							
-1°C	3,2	3,6	3,9	4,2	4,55	4,9	5,2
$+1^\circ\text{C}$	2,95	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7
$+3^\circ\text{C}$	2,8	2,95	3,2	3,45	3,7	4,0	4,25

температурах связывается большее количество CO_2 , особенно если вследствие несколько меньшего выделения CO_2 при последующем дображивании диоксид углерода уже не вытесняется. Чтобы не вызвать «перешпунтования» пива, при относительно большой высоте слоя пива в ЦКТ давление шпунтования следует скорректировать на коэффициент гидростатического давления.

«Перешпунтование» пива происходит тогда, когда из-за высокого давления шпунтования в пиве накапливается излишнее количество CO_2 . Такое пиво создает проблемы при розливе в бочки и бутылки, а также при реализации пива в розлив из бочек. Так как CO_2 , содержащийся в пиве, в условиях реализации в розлив (повышенные температуры, низкое давление) выделяется слишком быстро, то «перешпунтованное» пиво скоро выдыхается и теряет свои пенообразующие свойства. Поскольку у бутылочного пива содержание CO_2 ограничено конструкцией уставки розлива, а пшеничное пиво с содержанием CO_2 более 0,9 % можно продавать в розлив без каких-либо проблем, то термин «перешпунтование» следует применять только к условиям продажи пива в розлив. «Переливание пены через край» или «фонтанирование пива» («гашинг-эффект») в обычных условиях никак не связано с содержанием CO_2 и объясняется в первую очередь изменением коллоидной структуры или выделением диоксида углерода вследствие образования центров конденсации (см. раздел 7.6.7).

Контроль насыщения CO_2 в процессе дображивания следует вести путем точного измерения содержания CO_2 в пиве. В аппаратах по измерению CO_2 используется манометрический принцип, а высвобождается CO_2 благодаря встряхиванию

или с помощью электрических импульсов.

Карбонизация. Если пиво в результате слишком теплой или очень короткой выдержки, а также вследствие неполного дображивания или выбора метода созревания характеризуется крайне низким содержанием диоксида углерода, то насыщение CO_2 может быть осуществлено искусственным путем. Такая карбонизация может оказаться желательной, если содержание CO_2 в бутылочном пиве должно быть выше, чем у бочкового, а производственные условия не позволяют провести раздельное шпунтование. Кроме того, в процессе стабилизации CO_2 может теряться, что требует последующей корректировки его содержания.

В ФРГ в соответствии с Законом о налогообложении пивоварения для карбонизации разрешается использовать только CO_2 , полученный на данном предприятии. Насыщение CO_2 следует проводить с учетом давления и температуры, в связи с чем наиболее целесообразной является карбонизация в трубопроводе перед фильтром и после низкотемпературного охладителя пива, особенно если CO_2 диспергируется с помощью мелкопористой металлокерамической свечи или трубки Вентури до состояния, позволяющего пиву контактировать с возможно большим количеством пузырьков газа и удерживать их. В целях повышения стабильности работы фильтра количество подводимого CO_2 в зависимости от параметров выбранного участка трубопровода не должно превышать 0,07-0,1 % (около 0,7-1 г/л). Если требуется более значительная корректировка содержания CO_2 , то ее можно провести после фильтра, однако в танке для брожения пива под давлением при этом может наблюдаться сильное пенообразование.

Процесс карбонизации легко автоматизируется в зависимости от первоначального содержания CO_2 в пиве и его температуры.

Хороший эффект от карбонизации достигается в том случае, если перекачивать пиво из танка через трубку Вентури снова в танк, используя те или иные средства автоматизации. Для пива с очень высоким содержанием CO_2 при известных условиях насыщение должно осуществляться в несколько этапов. В сети трубопроводов CO_2 находится под избыточным давлением 10-15 бар, а на центральном распределительном узле давление снижается до 2-3 бар.

В некоторых странах разрешается закупать CO_2 в баллонах. При сбросе давления CO_2 с повышенного (около 60 бар) до рабочего происходит охлаждение вследствие испарения — 210 кДж (50 ккал)/кг CO_2 , способное вызвать замерзание редукционного клапана. Для предотвращения этого используются обогреватели. Целесообразно объединять баллоны с CO_2 в батареи, причем для более полного их опорожнения баллоны помещают в ванну с теплой водой.

3.5.3.4. Еще одной важной задачей отделения дображивания является *осветление пива*. Молодое пиво поступает в отделение дображивания в большей или меньшей степени мутным. В ходе дображивания компоненты пива, образующие муть (дрожжевые клетки, белковые и дубильные вещества) оседают. При этом выделяются горькие вещества. Этот процесс оказывает существенное влияние на округление вкуса, пеностойкость и физико-химическую стабильность пива.

Осветление пива зависит от нескольких факторов — от содержания и свойств

компонентов муты, от температуры дображиваемого пива, интенсивности дображивания, габаритов и высоты емкости для дображивания (площади осветления), а также от продолжительности дображивания. Осветление проходит тем быстрее, чем больше масса и объем компонентов муты. Дрожжевые клетки при оседании увлекают с собой часть уже выделившихся белковых и хмелевых веществ, причем хлопьевидные дрожжи осаждаются быстрее пылевидных. Количество дрожжевых клеток, которое при перекачивании на дображивание составляет от 10 до 15 млн/1 мл пива, уменьшается к концу дображивания у хлопьевидных дрожжей до 0,2-0,5 млн, а у пылевидных дрожжей остается во взвешенном состоянии еще 1-2 млн клеток. При дображивании в крупных вертикальных танках с сильной конвекцией при сокращенной продолжительности дображивания в пиве все еще присутствует 2-5 млн дрожжевых клеток, а при использовании способов ускоренного брожения и дображивания — еще больше.

Осаждение коллоидных белково-дубильных веществ происходит лишь после их агрегирования в крупные комплексы. Если это происходит после оседания хлопьевидных дрожжей, то осветление замедляется или в пиве остается «белковая вуаль». При известных условиях в сочетании с дальнейшим легким снижением рН обусловить длительное осветление могут пылевидные дрожжи, однако, как правило, пиво из суслу, сброженного пылевидными дрожжами, особенно при условии небольшой продолжительности дображивания, получается более мутным, чем пиво, полученное с использованием хлопьевидных дрожжей. Бактерии, вызывающие порчу пива, которые обнаруживаются в виде муты

только в случае очень сильного инфицирования уже во время дображивания, не оседают или оседают очень медленно, из-за чего пиво постоянно остается мутным или же мутнеет еще сильнее.

Снижение содержания азотистых соединений можно объяснить дефицитом высокомолекулярных веществ, доля которых уменьшается примерно на 10 %; осаждаются (в зависимости от интенсивности дображивания) 10-20% антоцианогенов пива и 3-12 % горьких веществ.

Продолжительность осветления зависит от температуры пива — чем ниже температура, тем медленнее протекает осветление. Под действием холода сначала выделяются растворимые белково-дубильные соединения, которые в виде тонкодисперсной коллоидной мути осаждаются очень медленно или сохраняются в виде мути (в случае практически прекратившегося дображивания). Благодаря продолжающемуся охлаждению пива и интенсивному дображиванию эти коллоиды укрупняются и оседают или легко удаляются фильтрованием. Тем самым улучшаются не только пеностойкость и стабильность пива, но и округлость вкуса. Если пиво выдерживается в теплом отделении дображивания, то есть при температуре от 2 до 3 °С, то уже при этой температуре оно существенно осветляется. Если на поздней стадии дображивания происходит охлаждение до -1 °С, то коллоидное помутнение хотя и возникает, но оно тонкодисперсно и с трудом поддается фильтрованию вследствие нехватки дрожжей и CO₂. Теплая выдержка в отделении дображивания стимулирует также действие протеолитических ферментов дрожжей с последующим выделением дрожжевого белка, оказывающего отрицательное влияние на

свойства пива (в первую очередь на полноту вкуса). При слишком теплой выдержке в отделении дображивания, а также очень высоком содержании дрожжей в молодом пиве содержание α-аминного азота повышается на 10-15 %, что сопровождается увеличением значения pH.

При описанных условиях в пиво могут также переходить протеазы дрожжей, которые в ходе дображивания и позже после розлива расщепляют белковые фракции, стимулирующие пенообразование, вызывая существенное снижение.

Интенсивность дображивания играет решающую роль в перемещении массы пива благодаря подъему пузырьков CO₂, которые при контакте с поверхностью дрожжевых клеток вызывают хлопьеобразование компонентов мути и повышают их способность к осаждению. Этот эффект особенно заметен в случае активного дображивания при низких температурах пива — например, при использовании доли пылевидных дрожжей или при внесении большого количества завитков.

Важны также *габариты и высота танков для дображивания*. С увеличением высоты танков эффективная поверхность осветления уменьшается, кроме того, возрастает высота падения частиц мути. С другой стороны, этому недостатку способна в некоторой степени противодействовать конвекция пива, обусловленная охлаждением противоток в танке.

При дображивании в ЦКТ после предшествующего созревания и охлаждения конвекция уже не наблюдается. Осаждение частиц мути, которая наряду с небольшим количеством дрожжей включает лишь белково-дубильные вещества, протекает очень медленно (от 0,1 до 0,2 м/сут), и, таким образом, между нижней и верхней

зонами танка возникают существенные различия. В этом случае целесообразно после прекращения конвекции и отделения осадка провести в течение 3-6 ч продувку СО₂ (3-5 г/гл в час), что позволяет добиться укрупнения частиц мути и ускорить их седиментацию.

Осаждению частиц мути противодействует вязкость пива. Высокой вязкостью характеризуется крепкое пиво и пиво, приготовленное из слабоброженного солода или по короткому способу затирания.

Продолжительность дображивания и созревания пива оказывает то естественное действие, что с течением времени частицы мути медленно оседают, но положительный аспект проявляется только при условии поддержания низких температур (-1 °С) и активном дображивании до конца.

Для ускорения осветления можно использовать механические (на основе поверхностной адсорбции) или химические средства (реакции осаждения или разложения).

В ФРГ в соответствии с Законом о налогообложении пивоварения для осветления разрешено применение только веществ, полностью удаляемых из пива (так называемые «технические вспомогательные вещества»), так что химические средства осветления запрещены.

Из механических средств осветления часто применяют стружку. Частицы буковой или ореховой стружки имеют длину 15-20 см и ширину 3-5 см. Это позволяет увеличить поверхность осветления танков для дображивания на основе адсорбции компонентов мути поверхностью стружки. При этом осветляющее действие поддерживается лишь при интенсивном дображивании или перемещении пива. Стружку засыпают через

люк в пустой танк, а затем перекачивают в него пиво. Новую стружку перед использованием необходимо пропарить и промыть. Использованную стружку промывают и стерилизуют в специальных моечных машинах. Высокие затраты, риск инфицирования и потери пива привели к разработке био- или ультрастружки, которая представляет собой небольшие просмоленные частицы древесины, вносимые как в бродильном отделении (2-3 г/гл), так и в отделении дображивания (5-20 г/гл).

Алюминиевая фольга при внесении в количестве 5-10 г/гл обладает осветляющим действием только в том случае, если у нее шероховатая поверхность.

В последнее время осветление стружкой несколько утратило свое значение, так как пиво после завершения дображивания все равно осветляется методами сепарирования или фильтрования. Таким образом, стружке отводится лишь роль улучшения фильтрования и разгрузки фильтра. Благодаря эффекту адсорбции стружка может способствовать формированию округлости вкуса пива.

Другими веществами адсорбирующего действия являются материалы типа рыбьего клея на основе, в основном, желатина. Расход сухого рыбьего клея составляет 3-5 г/гл. Под действием рН пива, дубильных веществ и спирта рыбий клей по мере снижения температуры выпадает в осадок в виде пленки, увлекает на дно частицы мути (см. раздел 8.3.6.4). Существуют также вещества растительного происхождения, например, агар-агар или карраген (ирландский мох), активным веществом которых являются высокомолекулярные углеводы (их использование в Германии запрещено).

К другим средствам осветления адсорбционного действия относят бентониты

и силикагели, которые, как и химические препараты (таннины, протеолитические ферменты) мы рассмотрим в разделе о стабилизации пива.

3.5.3.5. Под *созреванием пива* понимают округление и облагораживание его вкуса, улучшение аромата, а также повышение усваиваемости организмом. Эти явления объясняются как химическими, так и механическими процессами.

Механическим путем улучшение вкуса происходит благодаря оседанию дрожжей, укрупнению частиц коллоидных белков и дубильных веществ и их более быстрому осаждению. Дрожжи придают пиву привкус молодого пива, а белковые и дубильные соединения — размытую («белковую») горечь, которая может уже присутствовать даже в пиве, осветленном в условиях повышенных температур отделения дображивания. Горькие вещества в зависимости от глубины проведенного брожения и интенсивности дображивания выделяются в количестве 3-12 % (в пересчете на концентрацию начального сула). Букетообразователи молодого пива вместе с другими компонентами (в частности, органическими серосодержащими соединениями) улетучиваются благодаря вымываемому действию пузырьков CO_2 .

Вследствие химических превращений происходит снижения содержания букетообразователей молодого пива, поскольку они переходят в другие химические соединения. Тем самым содержание SO_2 и меркаптанов во время выдерживания пива в отделении дображивания снижается.

Содержание ацетальдегида, также участвующего в формировании вкуса молодого пива, уменьшается в период выдержки пива в отделении дображивания

на 20-70 %, а содержание высших алифатических спиртов (пропанола, изобутанола, амилового спирта) возрастает на 10-20 %. Что касается ароматических спиртов, то содержание фенилэтанола повышается на 10-50%, тогда как содержание тиросола, обладающего неприятным горьким вкусом, существенно снижается, а содержание триптофола уменьшается лишь в незначительной степени. Содержание сложных эфиров (основных носителей аромата) в ходе выдержки пива в отделении дображивания значительно увеличивается (примерно на 100 %, а с учетом коэффициента рассеяния — от 30 до 200 %). Такое увеличение их содержания объясняется реакциями различных органических кислот (уксусной, молочной, янтарной), аминокислот и т. п. со спиртами, сивушными маслами и глицирином.

Содержание свободных жирных кислот (гексановой, октановой и декановой) при выдержке пива в отделении дображивания возрастает на 20-40 %, а при более высоких температурах в отделении дображивания или большем количестве дрожжевых клеток отмечаются еще более высокие показатели. Возрастает и содержание сложных эфиров. Количество побочных продуктов брожения может быть индикатором наличия ошибок при ведении дображивания и созревания, а также применения некоторых ускоренных методов.

Содержание вицинальных diketонов (диацетила и 2,3-пентадиона) или их предшественников (2-ацетолактата и 2-ацетогидроксипутирата) при правильном проведении дображивания существенно снижается. Так, например, содержание «общего диацетила» (диацетила + его предшественников) уменьшается с 0,35 мг/л в молодом пиве до значений намного ниже

0,1 мг/л. Содержание ацетона снижается при его дальнейшем восстановлении до 2,3-бутандиола примерно с 3,0 до 1,0-1,5 мг/л. Выдержка в теплом отделении дображивания ускоряет расщепление diketонов; при задержке дображивания, преждевременном оседании дрожжей, слишком низких температурах повышается содержание «общего диацетила», что после розлива проявляется в испорченном вкусе пива. При известных условиях этот вкус возникает уже при выдержке пива в отделении дображивания в том случае, если при перекачивании пива на дображивание имел место захват кислорода, а образовавшийся свободный диацетил при низком содержании дрожжей, нарушении действия или вялости дрожжей в области низких температур не расщепляется в ацетон.

При сокращении продолжительности дображивания следует обращать внимание на уменьшение содержания «общего диацетила». В случае применения ускоренных способов созревания возможность быстрого и глубокого уменьшения содержания диацетила решает вопрос вообще о применимости таких способов.

Индикатором интенсивности дображивания является и содержание ацетона — в случае применения для дображивания завитков содержание ацетона несколько повышается.

3.5.3.6. Продолжительность дображивания и созревания при классическом способе приготовления пива зависит от его типа (по массовой доле СВ, содержанию горьких веществ и количеству еще сбраживаемого экстракта). Существенную роль играет температура или возможность ее регулирования в период выдержки в отделении дображивания. Для получения качественного пива требуется

определенная продолжительность дображивания и созревания. Если, например, в середине лета она будет очень короткой, то пиво приобретает незрелый «зеленый», неокруглый вкус. Может даже возникнуть ситуация, когда содержание общего диацетила окажется выше порога вкусового восприятия. Значительное превышение оптимальной продолжительности дображивания и созревания (например, при существенном снижении выпуска продукции или неправильном планировании производства) может, особенно при условии очень высокого содержания дрожжей в пиве, привести к формированию дрожжевого, «несвежего» привкуса, сопровождающегося ухудшением пеностойкости. Как правило, продолжительность дображивания и созревания темного пива меньше, чем светлого пива такой же крепости. Светлое пиво выдерживают тем дольше, чем оно должно быть крепче и чем выше внесение хмеля или хмелепродуктов.

Количество еще сбраживаемого экстракта практически невозможно учитывать, так как при выпуске продукции необходимо поддерживать определенный ритм. При известных условиях молодое, но лучше сброженное пиво может поступать на розлив до старого пива с недостаточной степенью сбраживания, однако при этом следует учитывать содержание в пиве общего диацетила. Чем ниже температура отделения дображивания, тем больше времени требуется для дображивания и созревания пива. Такое «холодное» ведение процесса является необходимым с точки зрения получения округлости вкуса, пеностойкости и стабильности пива. Продолжительность дображивания и созревания составляет у лагерного пива (11-12%) 4-8 нед., такой же продолжительностью характеризуется пиво

типа *Pilsener* той же плотности, а для экспортного пива (12,5-14 %) продолжительность дображивания и созревания составляет 6-12 нед. Для дображивания менее охмеленных сортов светлого крепкого пива требуется 2-3 мес., а для сильно охмеленного пива выдержка в отделении дображивания может длиться 3-4 мес.

Пиво типа *Festbier* выдерживают иногда 3-6 мес., благодаря чему оно приобретает особенно приятный цветочный аромат, что аналитически подтверждается повышенным содержанием некоторых сложных эфиров.

Темное пиво приобретает оптимальные свойства уже после непродолжительного дображивания и созревания — лагерное пиво (12-13%) — через 4-6 нед., экспортное пиво (13-14 %) — через 6-8 нед., а более крепкие сорта — через 2-3 мес. Пиво типа *Maerzen* («мартовское») по продолжительности дображивания и созревания можно поставить между светлым и темным пивом. Понятно, что при наличии высокого спроса на продолжительность дображивания и созревания необходимо делать поправку; а в ситуации стабильного увеличения сбыта следует позаботиться о консолидации продолжительности дображивания и созревания при необходимости сохранения описанного классического цикла созревания (как правило, путем изыскания дополнительных площадей для отделения дображивания).

3.5.3.7. Контроль дображивания включает следующие моменты. Выявление интенсивности дображивания путем определения содержания видимого экстракта или степени сбраживания (сначала ежедневно, в через 2-3 нед. с периодичностью 14 сут). Целесообразно также контролировать изменение значения рН.

Примерно в середине процесса дображивания и созревания проводят контроль цвета, значения рН, содержания общего диацетила или общего содержания вицинальных дикетонов, содержания свободного α -аминного азота и горьких веществ, степени осветления, вкуса и пенообразующих свойств. При необходимости можно внести изменения в ход дображивания (в процесс перекачивания, оживления дображивания пивом в стадии низких завитков, внесения активированного угля и т. д.). По данным микробиологического анализа можно своевременно (перед выпуском продукции) получить данные о необходимости специальной обработки пива (например, бактерицидной фильтрации или кратковременной тепловой обработки).

3.6. Современные способы брожения и дображивания

3.6.1. Традиционный принцип работы бродительных танков и крупных емкостей

3.6.1.1. Горизонтальные бродительные танки (см. раздел 3.4.2.4) загружают интенсивно аэрированным суслом на 75-80 %, очищенным от осадка взвесей охлажденного сусла не менее чем на 50 %. Внесение дрожжей обычно осуществляют на уровне 0,5-1,0 л/гл.

Для получения CO_2 «открытое» или «закрытое» брожение проводят при максимальных температурах 8-9 °С. При этом возникает сильная конвекция, обуславливающая ускоренное протекание брожения

по сравнению с бродильными чанами, и сбраживание до обычного содержания остаточных экстрактивных веществ сокращается примерно на сутки. Циркуляция пива усиливается благодаря размещенным снаружи охлаждающим карманам. Поддержание максимальной температуры осуществляется верхней системой охлаждения, а для охлаждения до конечной температуры противотоком включается вторая система охлаждения. Осаждение дрожжей в таких емкостях иногда представляет трудности из-за более сильной конвекции. Для оседания им требуется больше времени, и таким образом нивелируется отмеченный выше выигрыш во времени. В целях улучшения осаждения дрожжей конвекция должна завершаться примерно за 24 ч до перекачивания пива на дображивание, то есть к этому моменту конечная температура должна быть уже достигнута. Формированию дрожжевого осадка способствует зона охлаждения в самой нижней точке танка. Положительный эффект может даже дать дальнейшее сбраживание, ожидание оседания дрожжей при температуре 3-5 °С, а затем смешивание с необходимым для дображивания количеством завитков. Без этого содержание дрожжей в пиве, перекаченном с остаточным экстрактом, составляет порядка 20-30 млн клеток/1 мл, и зачастую такое пиво характеризуется дрожжевым или горьковато-дрожжевым привкусом.

Вследствие подъема пузырьков CO_2 происходит хорошее формирование деки. В течение однодневной паузы на седиментацию она обычно не опадает и при перекачивании пива на дображивание оседает на стенках емкости. Содержание горьких веществ в молодом и готовом пиве, полученном в закрытых емкостях, примерно на 10 % выше, чем у пива, полученного

в открытых емкостях. Сбор дрожжей в длинных емкостях производить несколько труднее, однако удовлетворительный результат можно получить или при помощи телескопического черпака путем взмучивания водой, или, в конце концов, при обходе танка, для чего целесообразно установить в задней торцевой стенке танка дополнительный люк.

Так как в дрожжах содержатся компоненты деки, ее необходимо очистить с помощью вибросит. В отдельных слоях сброженного пива содержание дрожжей может быть разным, поэтому требуется обеспечить по возможности равномерное распределение молодого пива.

3.6.1.2. Вертикальные бродильные танки цилиндрикоконической конструкции (см. раздел 3.4.2.5) загружаются так же, как и горизонтальные танки. Благодаря подъему пузырьков CO_2 возникает конвекция, усиливающаяся под действием охлаждения. Подключение лишь верхней зоны охлаждения вызывает более сильную конвекцию, чем подключение нескольких зон или всей поверхности охлаждения в цилиндрической части танка. Подъем пузырьков (его скорость составляет около 0,3 м/с) стимулирует контакт дрожжей с субстратом и тем самым увеличивает скорость брожения и протекающие при этом процессы. Это объясняет, несмотря на большую высоту, исключительную однородность сбраживаемой жидкости. В таких танках при брожении происходит отличное осаждение дрожжей. Уже во время интенсивной фазы направленный вверх турбулентный поток захватывает несколько меньше дрожжей, чем поток, идущий вниз (в том случае, если конусная часть уже немного охлаждена). Охлаждение нижней части снижает турбулентность, чем содействует

оседанию дрожжей. Количество дрожжей, дозируемых в объеме около 0,71 л (20 млн клеток, см. раздел 3.4.3.2), в стадии высоких завитков может составить 70-75 млн клеток.

Перед перекачиванием пива на дображивание в зависимости от технологии биомасса дрожжей возрастает в 3-3,5 раза. Как мы уже отмечали, отдельные слои бродящего субстрата не отличаются ни по степени сбраживания и температуре, ни по содержанию побочных продуктов брожения. Содержание CO_2 вследствие конвекции одинаково даже в очень высоких танках, и пока существует конвекция верхняя и нижняя зона не различаются по содержанию дрожжей (их более высокая концентрация отмечается лишь в конусной части). Эти факторы конвекции и давления являются причиной того, что выделение горьких веществ, как и в рассмотренных выше горизонтальных танках, на 10-15 % ниже, чем в открытых чанах. Продолжительность брожения при обычных температурах 8-9 °C составляет всего 5-6 сут (если не требуется дополнительно времени для достижения конечной степени сбраживания и оседания дрожжей).

Сбор дрожжей относительно не сложен — они спускаются из конусной части бродильного танка после короткого интенсивного слива для удаления загрязнений (взвесей и мертвых дрожжевых клеток) до тех пор, пока по цвету жидкости не станет ясно, что можно произвести переключение на лагерьный танк. Для предотвращения захвата пива дрожжи следует снимать медленно (в течение 60-80 мин). Их консистенцию можно назвать кашеобразной, однако в результате уменьшения давления столба жидкости в бродильном танке происходит соответствующее увеличение объема и дрожжи становятся вспененными.

Технология перекачивания пива на дображивание или другие технологические операции при дображивании остаются традиционными (см. раздел 3.5.3.1). Если перекачивание осуществляется с остаточным экстрактом, то охлаждение противотоком (например, с 9 до 5 °C) за 24 ч в сочетании с образованием CO_2 позволяет поддерживать хорошую однородность молодого пива благодаря снижению за это время экстрактивности на 0,5-0,8 %. Содержание дрожжей к моменту перекачивания пива на дображивание одинаково и находится на уровне 10-15 млн клеток. Если это пиво распределяется между танками соответствующего объема с помощью смесителя таким образом, что в каждый танк в данный момент времени поступает одинаковое пиво, то содержимое всех танков гарантированно характеризуется одними и теми же свойствами. В начале перекачивания пива на дображивание всегда происходит захват дрожжей со стенок конуса. Дображивание протекает, как и в других бродильных емкостях, причем дрожжи оседают немного быстрее.

С технологической точки зрения сокращенный цикл брожения не является идеальным (перекачивать пиво приходится в выходные дни или в конце недели). Кроме того, получение требуемого качества молодого пива (по экстрактивности, содержанию дрожжей и т. д.) представляется затруднительным, особенно если в один день необходимо производить перекачку нескольких танков, так как смещение, например, на 6 ч может привести к большим изменениям этих значений. В таком случае считается целесообразным продолжать сбраживание и седиментацию дрожжей, а дображивание производить за счет использования завитков. Если, например, перекачивание

пива на дображивание осуществляется на день позже, но при этом еще поддерживается температура 4,0-5,0 °С, то степень сбраживания окажется на 3-6 % ниже конечного значения, а содержание дрожжей снизится с 10 млн клеток до 2-3 млн. В связи с этим следует обеспечить однородное распределение молодого пива и равномерное смешивание с завитками (10-12 % со степенью сбраживания 25-35 % и количеством дрожжевых клеток более 50 млн). Благодаря этим мерам к началу дображивания достигается обычный уровень экстрактивности и содержания дрожжевых клеток. Дображивание в этом случае независимо от остаточного количества дрожжей начинается хорошо, а пиво имеет мягкий, приятный вкус и в отличие от «нормально» перекаченного пива допускает более высокое содержание горьких веществ.

Размер танка должен быть таким, чтобы его можно было заполнить за полдня. Для крупных танков этого добиваются благодаря согласованию продолжительности перекачивания из танка для внесения дрожжей или флотационного танка. Если же заполнение продолжается очень долго, то из-за более высокой температуры внесения дрожжей и брожения возникает сильная турбулентность в активной фазе, сопоставимая с условиями брожения при перемешивании. Пиво при этом приобретает «пустой» вкус, так как очень быстро выделяется большое количество белка, образуется меньше летучих кислот и возникает неблагоприятное соотношение сложных эфиров и высших спиртов. Образуется больше «общего диацитила», поскольку его максимальное содержание достигается на 1-2 сут позже, и снижение его содержания до конца брожения или созревания представляет серьезные проблемы.

Поэтому нецелесообразно проводить однократное внесение дрожжей в первую варку и долив семенных дрожжей в течение 24 ч даже при интенсивной аэрации. Если же в последних варках партии пива отказаться от введения воздуха, то это может вызвать расслоение пива: уже сброженная и, соответственно, более легкая часть столба жидкости будет находиться в верхней части танка, тогда как в нижней его части снижения экстрактивности еще не наблюдается. Это снижение экстрактивности наступает лишь с усилением конвекции в результате охлаждения верхней (сброженной) части жидкости, что небезопасно по микробиологическим показателям.

С учетом вышеизложенного рекомендуется вышеописанная технология перекачивания: если варки, в которые дрожжи были внесены первыми (с немного пониженной температурой и количеством внесенных дрожжей), находятся в отделении для внесения дрожжей 16 ч, то последние варки (с более высокой температурой и количеством внесенных дрожжей) перекачивают уже через 4-6 ч. К моменту смешивания температуры должны выровняться. При прямом внесении дрожжей в крупный танк существует также возможность начать процесс при пониженных температурах и количестве внесенных дрожжей, повышая их по ходу заполнения танка.

Так как этому процессу не предшествует осветление холодного сусла, то желательно, чтобы до внесения семенных дрожжей доливом в следующую варку были удалены взвести горячего сусла, осевшие за это время в конусной части путем осторожного отмучивания. Если из-за ускоренного заполнения танка это невозможно, то эту операцию следует выполнить через 6-8 ч после его полного

заполнения. Это является дополнительной стадией очистки, которая оказывает благотворное влияние на свойства пива и дрожжей.

3.6.1.3. Вертикальные танки с плоским днищем («Асахи-танки», см. раздел 3.4.2.6) благодаря своей геометрии (отношение длины к высоте — 1 : 1-1,5) и ограниченной высоте в 8-10 м характеризуются пониженной конвекцией, однако молодое пиво имеет абсолютно одинаковые характеристики. Хотя оседание дрожжей в последней фазе главного брожения дает удовлетворительный урожай дрожжей, достаточно большое их количество присутствует и в виде взвеси (25-30 млн клеток). Содержание дрожжей затем уменьшается до нормального значения благодаря длительной седиментации или применению сепараторов для молодого пива при его перекачивании на дображивание. При этом равномерной загрузки сепаратора способствует слив с помощью поплавка. Оставшиеся в танке дрожжи собирают обычным способом.

3.6.1.4. Вертикальные танки с плоскоконическим днищем (см. раздел 2.4.3.7) характеризуются отношением длины к высоте 1 : 1-1,5, а так называемые «унитанки» — лишь 1 : 1 (условия брожения в них соответствуют условиям брожения в «Асахи-танках»). Благодаря охлаждению конической части днища, предусмотренному в отдельных конструкциях, в фазе охлаждения противотоком достигается хорошее оседание дрожжей. Дрожжи собирают после перекачивания молодого пива на дображивание и очищают на вибросите, так как на дрожжах оседают дека или частицы горьких веществ, находящиеся на поверхности жидкости во взвешенном состоянии.

3.6.1.5. Применение вертикальных бро-дильных танков в отделении для дображивания. Преимущество подобных танков заключается в том, что благодаря смонтированному на них охладителю имеется возможность регулировать температуру по мере сбраживания экстракта и тем самым оказывать положительное влияние на созревание пива. Содержание CO_2 в отдельных слоях как при брожении, так и в ходе дображивания остается постоянным до тех пор, пока имеет место конвекция. При этом снижение давления на поднимающееся пиво не вызывает уменьшения содержания CO_2 . Различия проявляются лишь тогда, когда прекращается конвекция вследствие интенсивного дображивания, а также ослабляется перемещение жидкости под действием разности температур (например, в результате охлаждения с 5 до 3 °C). Это незначительное расслоение можно компенсировать кратковременной продувкой CO_2 . Эта мера применяется также для осуществления дальнейшего снижения температуры ниже значения максимальной плотности (+3 °C).

Осветление пива под действием более высокого гидростатического давления в вертикальных танках хуже, чем в горизонтальных, причем дрожжи оседают медленнее. В ЦКТ дрожжи следует снимать перед спуском пива, причем из-за сильного отстоя дрожжей это иногда может вызывать затруднения. В этом случае целесообразно профильтровать содержимое конусной части накануне, чтобы избыточно не нагружать свеженамытый фильтрующий слой.

В «Асахи-танках» и аналогичных конструкциях для разгрузки фильтров применяются сепараторы пива. В «Асахи-танках» поплавок компенсирует незначительные расхождения в содержании

CO₂. Простота работы с такими танками, в том числе и для выдерживания пива в отделении дображивания, способствует их внедрению и распространению. Благодаря целенаправленному ведению дображивания пиво спустя 3-4 нед. (то есть на треть меньше обычного времени выдержки в отделении дображивания) считается созревшим и приобретшим безупречный вкус.

Однотанковый способ. В ЦКТ после спуска дрожжей существует возможность проводить созревание в той же емкости. Для заполнения пространства, предусмотренного на подъем, и получения желаемого содержания CO₂ танки на 12-15 % заполняют завитками со степенью сбраживания 25-35 %. При этом происходит подмывание дрожжевого слоя, и важно, чтобы пиво полностью перемешалось и на высоких уровнях танка. Как правило, перемешивание продолжается 3 сут, однако его продолжительность можно сократить путем продувки CO₂.

Для заполнения свободного пространства иногда добавляют сброженное пиво из параллельного танка, однако на пивоваренных предприятиях зачастую отказываются от перемещения пива во избежание дополнительных регулировок и мойке.

В «Асахи-танках» молодое пиво отбирают из танка после достижения степени сбраживания, примерно на 5% меньшей КСС, подают на сепаратор для молодого пива и подключенный к нему пластинчатый холодильник, после чего возвращают через поплавков в центр слоя жидкости. Благодаря этому содержание дрожжей в пиве для последующего созревания уменьшается до 10-20 млн клеток.

3.6.1.6. В некоторых странах для уменьшения пространства на подъем, особенно

в высоких узких танках и при проведении «теплого» брожения, применяют *пеногасители на основе силикона*. Обычно для предотвращения образования пенистой деки достаточно 4-8 г антипенителя/гл. Тем самым заполнение бродительных танков может осуществляться с 5 % свободного пространства. Вещества, выпадающие в осадок в результате резкого снижения значения pH (белки, полифенолы и горькие вещества), остаются во взвешенном состоянии и частично удаляются благодаря седиментации во время дображивания и при осветлении пива. Пеногаситель выводится из пива в процессе фильтрования через кизельгуровый фильтр, так что в пиве его или совсем не остается, или он присутствует в минимальном количестве, вследствие чего пенообразующая способность пива не ухудшается (в ФРГ применение пеногасителей запрещено).

3.6.2. Применение буферных танков и центрифуг

3.6.2.1. Основная идея использования буферных танков заключается в перекачивании в один крупный танк на дображивание большого количества варок пива одного сорта. В этом танке поддерживается температура 2-3 °C и в течение 7-14 сут (со шпунтованием или без него) осаждается наибольшее количество дрожжей и происходит некоторое осветление пива, а разница в содержании дрожжей, степени сбраживания и иных свойствах пива разных варок выравнивается. При этом достигается степень сбраживания на 2-4 % ниже КСС. Затем пиво перекачивают в собственно танк для дображивания и обеспечивают дальнейшее дображивание путем добавления 10-15% завитков хлопьевидных

или пылевидных дрожжей (или 20-25 % пива из сусла, сброженного пылевидными дрожжами). Если при перекачивании удастся избежать поглощения кислорода, а последующее дображивание проходит хорошо, то изготовленное таким способом пиво характеризуется очень чистым и мягким вкусом. Буферные танки хорошо зарекомендовали себя особенно в тесных бродительных отделениях при нехватке времени на охлаждение противотоком, а также в тех случаях, когда зоны отделения дображивания слишком велики для заданного сбыта пива (см. раздел 3.5.1.5), чтобы дифференцированно регулировать в них температуры.

Применение буферных танков можно также рекомендовать при использовании пылевидных дрожжей. В этом случае при температуре пива максимум 2 °C части пылевидных дрожжей дают осесть и собирают эти дрожжи для дальнейшего ведения процесса.

Недостатком буферных танков является двукратное перемещение пива, однако благодаря автоматической мойке общие трудозатраты снижаются. Применение буферных танков имеет целью не сокращение продолжительности дображивания и созревания пива, а обеспечение надежности производства и стабильности качества пива.

3.6.2.2. Раздельная выдержка пива в отделении дображивания применяется прежде всего тогда, когда во второй половине выдержки требуется стабилизация пива. Пиво выдерживают при температуре отделения дображивания 5-7 °C (редко при более высокой) до восстановления содержания общего диацетила; соединения-букетообразователи молодого пива вымываются, и пиво насыщается CO₂ в зависимости от температуры и дав-

ления шпунтования (0,3-0,4 бар). Затем пиво перекачивают в «танк холодной выдержки» через низкотемпературный охладитель, карбонизируют до концентрации CO₂ 5,0-5,2 г/л, добавляют флокулянты и восстановители, после чего выдерживают 3-7 сут при температуре от -1 до -2 °C. Этот способ представляет собой переход к способам дображивания, целью которых является сокращение продолжительности дображивания и созревания пива.

3.6.2.3. Центрифугу для молодого пива целесообразно использовать с крупными танками любой конструкции — например, для сбора дрожжей при брожении с чистой культурой пылевидных дрожжей без применения длительных седиментационных процессов, а также для получения фиксированного количества дрожжевых клеток для дображивания или целенаправленного созревания. Для хлопьевидных дрожжей можно вообще обойтись без фазы осаждения и добиться эффекта, аналогичного применению пылевидных дрожжей. Физиологические свойства дрожжей тем лучше, чем раньше в конце брожения они собраны, однако слишком высокое количество дрожжевых клеток нежелательно (особенно при использовании методов ускоренного созревания пива), так как у пива появляется дрожжевой привкус.

В центрифугах для молодого пива в зависимости от ожидаемой степени осветления молодого пива можно сепарировать до 800 гл продукта в час. Их энергопотребление составляет около 8 кВт · ч/100 гл (см. раздел 4.2.5). Центрифугированные дрожжи можно собирать в безукоризненном микробиологическом состоянии, так как центрифуга, включая путь дрожжей в систему очистки, герметична.

В зависимости от их дальнейшего использования, дрожжи можно сконцентрировать до 10-12 % СВ, а остаточные дрожжи — даже до 28 % СВ. Тем самым молодого пива, требующего повторной обработки (см. раздел 6.2.5), в качестве побочного продукта не образуется.

3.6.3. Методы ускоренного брожения и созревания пива

3.6.3.1. Метод Натана (Nathan) известен уже давно. Сначала сусло отделяют от взвесей охлажденного сусла. Первоначально использовавшийся чан для осаждения взвесей успешно был заменен другими средствами (фильтрованием через кизельгуровый фильтр, седиментацией взвесей охлажденного сусла, флоатацией). Бродильные чаны Натана имеют цилиндрикоконическую форму (охлаждающее оборудование соответствует описанному выше). Норма внесения дрожжей составляет 1 л/1 гл сусла, а установочная температура сусла при внесении дрожжей — 5-6 °С. Сбраживание при 9-10 °С осуществляется до КСС, достигаемой через 7-8 сут. По окончании главного брожения дрожжи осаждают путем включения охлаждения конусной части и прокачивают в сборник для дрожжей. Сразу после сбора дрожжей молодое пиво в специальной емкости для созревания подвергают промывке CO₂ и тем самым удаляют из молодого пива ароматообразующие вещества. Пиво стекает топким слоем по стенкам, а сильная струя воздуха вытесняет отделившиеся букетообразующие вещества молодого пива, насыщенные CO₂. После этого пиво охлаждают и карбонизируют. Продолжительность приготовления составляет в общей сложности 20 сут.

3.6.3.2. Довольно часто рекомендуют вести брожение при перемешивании. В данном случае ускоряющий эффект связан не с движением пива, а с равномерным распределением дрожжей в бродильном субстрате. При нормальных нормах внесения дрожжей и температурах брожения продолжительность главного брожения составляет 3-4 сут. Так как дека несколько притапливается, то пиво хотя и находится под шапкой пены, в большей или меньшей степени аэрируется, что проявляется не только в более интенсивном размножении дрожжей, но и в усиленном образовании диацетила. После выключения месильного органа дрожжи быстро оседают на дно, так что в пиво для восстановления диацетила и проведения дображивания следует добавить завитки. Для отделения дрожжей можно также использовать *сепаратор для молодого пива*, но если достаточно времени для оседания дрожжей, то необходимость в нем отпадает. Такое пиво вследствие сильного размножения дрожжей отличается повышенным содержанием органических кислот (что также отражается в значении рН) и высших спиртов, а образование сложных эфиров подавляется (см. раздел 3.2.6.2). Содержание летучих кислот — низкое.

При способе перемешивания только в течение 24-часовой фазы введения дрожжей наблюдается (при условии нормального аэрирования) хорошее размножение дрожжей в ходе брожения при нормальных (9-10 °С) и повышенных (13-14 °С) температурах. Образование при этом побочных продуктов брожения зависит от температуры брожения, а содержание сложных эфиров из-за сильного размножения дрожжей оказывается несколько ниже.

3.6.3.3. *Брожение при повышенных температурах* (12-20 °С) существенно сокращает продолжительность брожения (до 4-5 сут). Снижение значения pH по сравнению с нормальным брожением проходит очень быстро и глубоко, а выделение горьких веществ и абсорбция свободного α -аминного азота более интенсивно. Предельные значения содержания «общего диацетила» и «общего пентадиона», то есть вицинальных дикетонов и их предшественников, достигаются раньше и существенно превышают значения, получаемые при нормальном брожении, однако восстановление проходит быстрее, и к концу главного брожения показатели оказываются ниже, чем при традиционном ведении брожения. Аналогичное поведение свойственно и ацетальдегиду. ДМС и другие летучие серосодержащие соединения в значительной степени вымываются образующимся CO_2 . Содержание высших спиртов и сложных эфиров достигает намного более высоких значений, чем при классических способах брожения (см. раздел 3.4.8.4), происходит также увеличение содержания ароматического спирта 2-фенилэтанола и его эфира, однако содержание среднемолекулярных свободных жирных кислот и их этиловых эфиров снижается. Показатели пеностойкости иива могут снизиться вследствие сильного осаждения коллоидов, хотя холодо- или белковая стойкость отличаются ненамного. По вкусовым показателям пиво, сброженное при температурах 12-16 °С, характеризуется лучшими показателями, чем сброженное при 20 °С. Желательно поддерживать температуру до тех пор, пока содержание общего диацетила не станет ниже порогового значения восприятия (0,10 мг/л). Для успешной реализации подобного способа необходимо

удаление дрожжей, оседающих в конусной части бродильного танка, в момент достижения КСС и в конце периода созревания. Выдерживание пива при температуре 0 °С и ниже направлено исключительно на связывание CO_2 , образовавшегося в ходе брожения, на осаждение мути и, тем самым, на достижение некоторой белковой стабильности пива.

Существует также возможность проводить охлаждение по окончании ускоренного брожения после достижения КСС, отделять дрожжи и осуществлять дображивание при обычных температурах с добавлением 10% завитков (степень сбраживания 20-25 %). Это, правда, занимает 2-3 нед.

Пиво, приготовленное с применением этих двух способов, имеет легкий дрожжевой характер, а горечь, как правило, не сбалансирована. Вследствие повышенного количества высших спиртов такое пиво зачастую имеет своеобразный аромат.

3.6.3.4. *Брожение под давлением* способно снизить размножение дрожжей и тем самым сдержать образование побочных продуктов брожения, которое при повышенных температурах протекает гораздо интенсивнее (см. раздел 3.2.6). Кроме того, достигается желательное насыщение пива CO_2 . Большое значение имеет регулирование давления — как по времени, так и по величине. Если оно применяется слишком рано, то размножение дрожжей существенно подавляется, и брожение замедляется. Если же давление применяется слишком поздно или если оно ниже, чем требуется (из-за особенностей данного танка) то повышается содержание побочных продуктов брожения.

Суть данного способа состоит в следующем. В предварительно отфильтрованное сусло (удаление осадка взвесей

охлажденного сула не менее 60 %) при температуре 10-12 °С вводятся дрожжи (25 млн клеток, 0,8 л/гЛ). Максимальная температура 18 °С достигается через 20-24 ч. Как только у дрожжей закончится первое почкование, давление повышают до 0,3 бар, а при достижении степени сбраживания 50 % — до 1,8 бар. Момент второго повышения давления можно без какого-либо ущерба перенести на время завершения второго почкования дрожжей, но для этого необходимо наличие контрольно-измерительной аппаратуры. При определении давления следует также учитывать статическое давление столба жидкости (особенно в ЦКТ). Избыточный диоксид углерода отводят через специальные шпунтаппараты. Конечная степень сбраживания достигается через 60-72 ч, и в этом момент можно в первый раз собрать дрожжи. Эта операция должна осуществляться в танке для брожения пива под давлением, где давление сбрасывается максимально быстро во избежание повреждения дрожжей (по возможности, с подмешиванием воздуха). Максимальную температуру и соответствующее давление поддерживают до тех пор, пока содержание общего диацетила не снизится ниже порога вкусового восприятия. В конце этого цикла производят повторное снятие дрожжей, после чего проводят охлаждение примерно до 5 °С, что позволяет удалить остаточные дрожжи, а в случае смеси пылевидных и хлопьевидных дрожжей — дрожжи брожения. При последующем перекачивании в танк холодного дображивания через пластинчатый теплообменник происходит дальнейшее охлаждение пива до -1 °С. При однетанковом методе пиво охлаждают или после однодневной паузы при температуре 5 °С, или сразу до -1 °С. В ходе этой фазы давление снижают

до значения, соответствующего желаемому содержанию CO₂. Зачастую содержание CO₂ в пиве является слишком высоким, так что при снижении давления осуществляется перекачивание содержимого танка. Как мы уже отмечали ранее (см. раздел 3.2.6.6), восстановление 2-ацетолактата при высоких температурах происходит очень быстро, причем давление не оказывает на него отрицательного воздействия. Брожение и созревание завершаются через 108-120 ч, и в ходе последующей фазы стабилизации белково-дубильные соединения муты выпадают в осадок, а благодаря укрупнению коллоидов достигаются хорошие пенообразующие свойства. Здесь важно своевременное и полное осаждение дрожжей брожения — в противном случае происходит усиленное выделение среднемолекулярных жирных кислот и их эфиров, которые негативно влияют на пенообразование и зачастую дающие дрожжевой или горьковато-дрожжевой привкусы.

Если данный способ интенсифицировать вне указанных временных рамок, и нет времени для достаточной седиментации дрожжей, то между бродительным танком и танком для дображивания и созревания пива целесообразно установить сепаратор для молодого пива. Подключение к нему охладителя, в котором сбрасывается высокое давление сепаратора, существенно сокращает продолжительность охлаждения, однако требует повышения холодопроизводительности.

Дрожжи, используемые для теплого брожения или брожения под давлением, должны подбираться с учетом возможностей этих технологий. Лучше всего использовать дрожжи, не обладающие слишком сильной флокулирующей способностью. Нередко применяются смеси пылевидных и хлопьевидных дрожжей

или даже чистые пылевидные дрожжи. Хлопьевидные дрожжи характеризуется риском слишком быстрого оседания, благодаря чему в фазе созревания образуются слои пива с различным содержанием дрожжей, и в известных условиях в верхних слоях может оказаться слишком мало дрожжей для достаточно быстрого восстановления 2-ацетолактата. У смесей хлопьевидных и пылевидных дрожжей этот риск снижается, но они в ходе нескольких циклов могут расслаиваться. Пылевидные дрожжи при коротких циклах (в первую очередь, при противоточном охлаждении) плохо оседают, и большое количество дрожжей переносится в зону холодной выдержки, что требует частого удаления отстоя. В этом случае хорошо себя зарекомендовало на практике использование центрифуг для молодого пива.

Целесообразной является замена дрожжей, используемых в методах брожения под давлением, не реже чем через три цикла. Вследствие более слабого размножения из-за применения давления и т. д. способность дрожжей к сбраживанию ослабевает, снижение значения рН сглаживается, как и способность к восстановлению 2-ацетолактата. Вследствие выделения жирных кислот и их эфиров образуется эфирно-дрожжевой вкус, а выделение щелочных аминокислот и вторичных фосфатов вызывает увеличение значения рН уже в ходе созревания. Если благодаря применению давления неизбежное при теплом брожении образование побочных продуктов брожения удастся ослабить и отчасти предотвратить, то на содержание 2-фенилэтанола него эфиров эти меры влияют. В пиве, полученном методом брожения под давлением, содержание этих веществ всегда в 2-3 раза выше.

Для преодоления этих недостатков в технологию вносятся некоторые изменения, и поскольку не все штаммы дрожжей одинаково восприимчивы имеет смысл провести их проверку на стойкость к повышенным температурам и давлению. Применение более низких температур (около 13-14 °С) и, соответственно, давления хотя и увеличивает продолжительность брожения и созревания до 144-168 ч, но лучше согласуется с производственным циклом. Частичное осветление дрожжей завитками гарантирует использование дрожжей на производстве не более двумя, максимум тремя циклами. Такое пиво является чистым, специфически дрожжевого типа, хотя и с некоторой размытостью вкуса.

По вышензложенным причинам при использовании этих способов предусматривается ограничение размножения дрожжей путем своевременного применения давления и ограниченного аэрирования. Если при двукратном заполнении танка аэрирование применяется в полной мере, температура внесения дрожжей ограничивается 8-10 °С, а максимальная температура (17-18 °С) достигается через двое суток, то в первые сутки размножение дрожжей осуществляется без использования повышенного давления, во вторые сутки — при температуре 14 °С и давлении 0,3 бар, а количество клеток увеличивается с 20 до 70 млн. Первые дрожжи, собранные при достижении КСС, вновь используются для внесения; второго сбора дрожжей не проводят. В обычных технологических условиях брожения под давлением можно добиться многократного внесения дрожжей без каких-либо потерь. Как только в бродящем сусле снижается давление, дека опадает и происходит увеличение содержания горьких веществ, что подтверждается

аналитически. Это увеличение касается не только изогумулонов, но и уже выделившихся α -кислот, гупулонов и других продуктов брожения (см. раздел 3.4.8.5), что дает экономию около 15 % горьких веществ. В пиве, приготовленном таким способом, в избыточном количестве присутствуют и другие горькие вещества, благодаря чему первоначальную норму внесения хмеля можно уменьшить.

3.6.3.5. Способ «унитанка» основан на использовании танка специальной конструкции с отношением длины к высоте 1 : 1 и плоскоконическим днищем (см. раздел 3.4.28). Танки объемом до 5000 гл вмещают до 10 варок. При температуре внесения дрожжей 13,5 °С и применении 15 млн дрожжевых клеток/1 мл КСС достигается через 4-5 сут. Максимальное количество дрожжевых клеток составляет 80 млн/мл, а содержание общего диацетила — около 1,8 мг/л. Благодаря поддержанию температуры в течение следующих 7 сут это значение снижается примерно до 0,1 мг/л, а количество дрожжевых клеток сохраняется на уровне около 20 млн/мл. Дрожжи удаляют после созревания, то есть через 10 сут, из очень пологой конусной части с углом наклона стенок 145°, причем чтобы не «разорвать» поток дрожжей и предотвратить захват пива эта операция должна осуществляться как можно медленнее. Тем самым сбор дрожжей может длиться 5 ч и более. Сбор дрожжей и впоследствии дрожжевого осадка целесообразно оптимизировать с помощью мутномера, объединённого с автоматической запорной заслонкой танка. При охлаждении до температуры ниже 6 °С производят продувку CO_2 (3 г/гл в час) через перфорированное кольцо с форсунками у дна, благодаря чему конвекция усиливается,

частицы мути увеличиваются в размере, и по мере охлаждения происходит определенное насыщение CO_2 , которое вследствие поддержания возможно низкого давления 0,04 бар впоследствии требует корректировки. В целях стабилизации, насыщения CO_2 и холодной выдержки пиво можно было бы прокачивать через теплообменник, однако более целесообразно их проведение в одном и том же танке из-за возможного захвата кислорода и потерь при смене танка. Содержание дрожжей после созревания, то есть в начале холодной выдержки, составляет 2-8 млн клеток/мл. Пиво, приготовленное в «унитанках», по аналитическим показателям не отличается от пива, изготовленного традиционным способом.

Максимальное избыточное давление для «унитанков» составляет 0,04 бар. При опорожнении пространство в верхней части танка следует обязательно заполнять CO_2 . При использовании в этих целях воздуха длительный цикл опорожнения (около 6-10 ч) или двукратное опорожнение могут вызвать окисление верхних слоев пива и ухудшение его качества.

В случае неполного слива дрожжей при падении давления они могут подниматься в слой жидкости и блокировать фильтр при сливе последней партии, которая составляет около 20 % емкости танка. В этом случае практически незаменим пивной сепаратор. Крайней мерой может стать также выдержка пива в горизонтальных тапках дображивания в течение 1-2 сут — за это время большая часть поднятых дрожжей вновь оседает. Общая продолжительность брожения, созревания и холодной выдержки составляет 21-24 сут.

3.6.3.6. Традиционная технология с использованием ЦКТ. Хотя этот способ не

совсем относится к теме данной главы, за счет адаптированной технологии затраты времени вполне сопоставимы с приведенными выше.

Брожение до желаемой степени сбраживания при максимальной температуре 9-10 °С может осуществляться за 5-6 сут. При этом охлаждение до 7 °С следует начинать своевременно, чтобы дрожжи при этой температуре могли осесть еще около 24 ч. Затем дрожжи собирают путем медленного слива (15-20 гл/ч), а пиво со степенью сбраживания на 10-12 % ниже КСС и с содержанием дрожжевых клеток около 15 млн/мл перекачивают в ЦКТ для дображивания.

При частых варках целесообразно провести сбраживание почти до значения КСС, дать осесть дрожжам при температуре 7 °С и после сбора дрожжей перекачать пиво на дображивание с количеством дрожжевых клеток около 2-4 млн/мл. В молодое пиво добавляют около 12 % завитков (степень сбраживания 25-35 %, количество дрожжевых клеток около 50 млн/мл).

При 7 °С в зависимости от содержания 2-ацетолактата и значения pH пива (около 4,35-4,40, pH сусла — 5,1) *созревание* продолжается 7-10 сут. В это время поддерживается избыточное давление шпунтования 0,2-0,3 бар, а оседающие дрожжи медленно спускают каждые 2-3 сут. После снижения содержания общего диацетила до уровня ниже 0,10 мг/кг (общее содержание вицинальных дикетонов — 0,15 мг/кг) в течение 3-5 сут проводят охлаждение до -1 °С. Из-за ослабления конвекции при падении температуры ниже 3 °С целесообразно произвести продувку CO₂ (около 3 г/гл в час) до достижения более низкой конечной температуры. Последующую фазу холодной выдержки следует поддерживать

в течение не менее недели и за этот период один раз слить дрожжевой осадок; повторить эту операцию необходимо незадолго до фильтрования.

Благодаря такой технологии, предусматривающей контроль и точное регулирование процесса, примерно через 24 сут удается получить безукоризненное пиво, по свойствам не отличающееся от традиционного. Такое пиво не восприимчиво к увеличенной продолжительности дображивания и созревания в отличие от пива, приготовленного ускоренными способами (последнее должно попасть на фильтрование в течение определенного срока, не более одной недели).

3.6.3.7. Сбраживание и созревание высокоплотного сусла или пива. Данный метод строится на предположении, что для 18-24 %-ного сусла с нормой внесения дрожжей 2 л/гл и насыщенного кислородом на 18-20 мг/кг, не требуется главного брожения и созревания, более длительного, чем для нормального 12 %-ного пива. Тем самым требуется всего 50-67 % площади бродительного и лагерного отделений по сравнению с классическим способом. Применению этого метода, заимствованному из США, способствует то обстоятельство, что некоторые местные сорта пива из несоложенных материалов характеризуются дефицитом аминокислот, который в этом случае частично компенсируется. Благодаря применению кукурузного сиропа варочное отделение работает без излишней перегрузки (см. раздел 9.1.1). В пиве, приготовленном из высокоплотного сусла и разведенном до концентрации 12 %, хотя и содержится меньше высших спиртов и диацетила, содержание сложных эфиров более чем вдвое превышает норму. Такое пиво имеет явный эфирный привкус, и поэтому

для регулирования содержания эфиров было предложено в течение 2-4 ч проводить продувку броющего пива кислородом. Во избежание изменений качества пива зачастую используют более концентрированное начальное сусло (на 35 %), концентрация которого затем не превышает 14,5-15 %. В данном случае нормальный режим брожения по норме внесения дрожжей, температуре и продолжительности может быть выдержан тогда, когда значение рН начального сусла снижено до 4,9-5,0. Проблемы сбраживания высокоплотного сусла затрагивают, прежде всего, размножение дрожжей, их стабильность и тем самым поддержание активности дрожжей. При этом требуется удалять не только связанный CO_2 брожения, но и спирт. Чтобы создать благоприятные условия для дозируемых позже дрожжей, после внесения дрожжей или введения дрожжей доливом в несколько варок целесообразно основательно перемешать содержимое танка продувкой воздухом. При разведении готового пива с водой последняя ни в коем случае не должна содержать кислорода. Необходимо также предусмотреть наличие соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры для обеспечения желаемой или нормативно предписанной массовой доли СВ в начальном сусле. В некоторых странах разбавление сусла после определения его экстрактивности в варочном отделе запрещено (см. раздел 9.1.3).

3.6.3.8. Сокращение продолжительности созревания достигается в рассмотренных системах путем более длительного поддержания максимальной температуры в фазе КСС, однако в условиях повышенных температур даже при использовании давления существует риск повышенного образования побочных продуктов бро-

жения, в частности, 2-фенилэтанола (см. раздел 3.2.6.1) и низкомолекулярных жирных кислот; при известных условиях с ухудшением качества горечи появляется и дрожжевой привкус. В связи с этим напрашивается применение методов, при которых главное брожение до достижения значения КСС или до некоторого более раннего, точно определенного момента времени проходит обычным путем, то есть по холодному способу, а затем в фазе созревания поддерживаются более высокие температуры.

Холодное ведение процесса в первой стадии брожения с последующим теплым созреванием. В данном случае обычная температура брожения 9-10 °С поддерживается до тех пор, пока остаточное содержание экстрактивных веществ сохраняется на уровне, обеспечивающем достижение температуры созревания 12-14 °С без подведения теплоты извне. При достижении степени сбраживания около 50 % охлаждение прекращают, и в течение 24 ч температура повышается до 12-14 °С. В этот момент или чуть позже достигается КСС и производится сьем дрожжей, предназначенных для дальнейшего ведения процесса. Созревание затем продолжается еще 3-4 сут, и таким образом общая продолжительность процесса составляет 7-9 сут, после чего процесс проводят по описанной выше технологии. Пиво в этом случае характеризуется нормальным составом, но содержание побочных продуктов брожения на 5-10 % выше, чем у нормального пива. В случае своевременного удаления дрожжей содержание среднемолекулярных жирных кислот невелико.

Такое пиво несущественно отличается от классического (при условии правильного удаления дрожжей или

дрожжевого осадка и контролируемой продолжительности созревания, охлаждения и холодной выдержки). Конечно, в течение нескольких циклов выращивания необходимо проверять стабильность дрожжей, собранных при более высокой температуре (снижение рН экстракта, потребление свободного α -аминного азота, максимальное содержание 2-ацетолактата и длительности восстановления). В данном случае целесообразно внесение чистой культуры завитков или использование дрожжей лишь ограниченное количество раз.

Холодное брожение — *теплое созревание*. При «холодном» брожении (8,5-10 °С) до достижения КСС спектр побочных продуктов брожения совершенно нормален. В конце сбраживания экстракта дрожжи отмучивают при существующей максимальной температуре (количество дрожжей в пиве должно составлять лишь 2-3 млн клеток/мл). Чтобы обеспечить такое низкое содержание дрожжей, желательнее использовать центрифугу для молодого пива, с помощью которой количество дрожжевых клеток благодаря трубопроводу для смешивания (байпасу) поддерживается и не требуется дополнительного времени на седиментацию дрожжей. Затем пиво с помощью теплообменника нагревают до 15-20 °С и вносят свежие дрожжи в виде 12 % завитков (степень сбраживания 25-35 %, количество дрожжевых клеток 50 млн/мл). Дозирование завитков должно проходить равномерно во время перекачивания. Созревание при температуре 20 °С продолжается не более 2 сут, а при 15 °С — 4-5 сут. Более короткое, но в более теплых условиях созревание более предпочтительно. После восстановления 2-ацетолактата производится охлаждение (преимущественно с помощью того же

теплообменника), причем благодаря сочетанию нагревания и охлаждения пива можно собрать часть необходимой для этого энергии. После теплообменника при температуре -1 °С устанавливается желаемое содержание CO₂. В ходе созревания дрожжи ежедневно отмучивают. Возможно также шпунтование на давлении 0,8 бар. В первоначальной концепции данный метод основывался на применении танка для брожения/созревания и танка для холодного дображивания. Охлаждение можно также осуществлять в самом танке для созревания, где происходит и холодная выдержка, однако охлаждение с температуры 20 °С до -1 °С занимает 2-3 сут, причем, при переходе конвективного порога в 3 °С следует провести продувку CO₂, препятствующую образованию расслоения. При «трёхтанковом способе» такое охлаждение в танке для созревания в выходные дни требуется после завершения расщепления 2-ацетолактата, поскольку слишком продолжительное пребывание при повышенных температурах неблагоприятно для пива.

Холодная выдержка при температуре -1 °С должна продолжаться еще одну неделю. Пиво, полученное таким методом, благодаря сбраживанию завитков при повышенных температурах характеризуется незначительным повышением содержания высших алифатических спиртов и сложных эфиров, а также нормальными значениями содержания 2-фенилэтанола, жирных кислот и их эфиров. Подобное «программируемое» созревание снижает риск обычных для производства отклонений и гарантирует достижение одинакового качества продукта.

3.6.3.9. Брожение и созревание в узких высоких танках с плоскоконическим днищем и внешним охлаждением (см. раз-

дел 3.4.2.10) происходят быстрее. При вместимости танка 6-8 варок полная норма дрожжей (около 100 млн дрожжевых клеток) вносится только в первую варку, обычное аэрирование проводится через трубку Вентури. Следующие варки проводят с той же интенсивностью аэрирования, и в зависимости от количества варок танк заполняется за 12-24 часа. Во время этой фазы сусло с внесенными дрожжами и добавляемое сусло при достижении уровня заполнения в верхней части танка перекачиваются к сливному отверстию, расположенному на верхней кромке конусной части. Это необходимо проделать уже в течение первых суток, так как заданная максимальная температура достигается быстро и требуется корректировка температуры при помощи пластинчатого охладителя. Циркуляция содержимого танка длится примерно 20 ч, и в результате дрожжи из осадка снова попадают в верхнюю часть танка. Такая технология позволяет увеличить количество дрожжевых клеток с 85 до 100 млн; максимальная температура брожения составляет 10 °С, при этом избыточное давление повышается до 0,8 бар. Для последующего созревания температуру повышают до 12 °С, поддерживая ее до полного расщепления 2-ацетолактата. Так как благодаря брожению с перемешиванием предельные значения содержания 2-ацетолактата составляют около 1,0 мг/кг, то для достижения значения ниже пороговых (0,1 мг/кг, общее содержание вицинальных диктеонов < 0,15 мг/кг) после сбраживания почти до КСС сбраживания требуется созревание в течение 7-14 сут. Затем проводят охлаждение до 5 °С, прерывая перекачивание примерно на 1 сут, чтобы в конусной части могли осесть дрожжи. Последние медленно удаляют в

течение 3-4 ч, после чего их восстанавливают и охлаждают в емкости для дрожжей.

При последующей холодной выдержке примерно в течение 1 нед. поддерживают температуру около 0 °С; циркуляция пива при этом происходит от верхней края конусной части вверх, удерживая внизу продолжающие оседать во время пауз дрожжи и получая тем самым возможность собрать их из конусной части. Определяющим фактором производственного цикла в таких танках является продолжительность созревания. Рекомендованная прежде общая продолжительность (в общей сложности — 2 нед.) оказалась слишком короткой и в настоящее время принимается равной 21-24 сут. Для этого должны быть задействованы все факторы — интенсивное аэрирование сусла и поддержание активности семенных дрожжей, причем внесение дрожжей в первую варку вполне может рассматриваться в качестве «предварительного пропагирования».

3.6.3.10. Ведение брожения и созревания с помощью иммобилизованных дрожжей. Пробразом современной технологии является так называемый «реактор с неподвижным слоем», в котором дрожжи с кизельгуром намываются на пластинчатый или сетчатый фильтр слоем толщиной 2,5-3,5 см. Сусло, очищенное от осадка взвесей охлажденного сусла на 60-70 %, сбраживается (в большинстве случаев полностью). Регулирование степени сбраживания осуществляют расходом, причем температура брожения поддерживается на уровне 10-15 °С. Значение pH, которое сначала существенно снижается, а затем вновь возрастает, регулируют подбором давления. Полученное таким способом «молодое пиво» характеризуется крайне незначительным выделени-

ем аминокислот (вследствие ограниченного размножения дрожжей) и низким содержанием побочных продуктов брожения, особенно высших алифатических спиртов и сложных эфиров. Это компенсируется предварительным сбраживанием до степени сбраживания около 20 %. Существует также возможность предварительно проводить сбраживание до желаемой степени сбраживания во флотационном танке или танке предварительного сбраживания. В центрифуге для молодого пива дрожжи в виде суспензии удаляются, после чего сброженное пиво после промежуточного хранения фильтруют через фильтр с упоминавшимся выше неподвижным слоем.

Полученное пиво соответствует по своему составу степени зрелости (см. ниже), однако ресурс реактора с неподвижным слоем составляет всего около одной недели, так как дрожжевые клетки на выходе фильтра в течение этого срока теряют свою жизнеспособность. Это объясняется тем, что на стороне выхода дрожжам не хватает аминокислот, витаминов, фосфатов и т. д.

Реактор с вихревым слоем намного эффективнее. В него дрожжи вносят на гранулах из альгината, целлюлозы или спеченного пористого стекла в количестве 10 мг СВ/г носителя. Технология до стадии завитков остается прежней. Для поддержания циркуляции в вихревом слое пиво необходимо перекачивать со скоростью 1,7 мм/с. Реактор с вихревым слоем можно эксплуатировать в течение 3-4 мес.

Изначально сильная абсорбция аминокислот со временем снижается и, следовательно, снижается содержание высших алифатических и ароматических спиртов (при примерно постоянном содержании сложных эфиров), в связи

с чем для компенсации этих отклонений целесообразно включать параллельно несколько реакторов (с ресурсом около 1, 2 и 3 мес).

Так как содержание 2-ацетолактата при использовании этих двух типов реакторов является относительно высоким (0,5 мг/кг), то для его снижения ниже порога вкусового восприятия требуется фаза созревания (около 2 сут при температуре 30 °С с добавлением завитков). При этом из пива удаляются и другие букетообразователи молодого пива, а также достигается определенный баланс содержания высших спиртов и сложных эфиров. Затем для обеспечения физико-химической стабильности, а также требуемого качества пены пиво выдерживают еще 4-7 сут при температуре -1 °С.

3.6.3.11. Созревание в дрожжевом реакторе. Предпринимавшиеся ранее попытки восстановления ацетолактата во втором биореакторе оказались безуспешными. К преобразованию его предшественника в диацетил приводит лишь нагревание пива до 65-80 °С (в течение 20 и 6 мин соответственно), способствующее превращению свободного диацетила в ацетон (в реакторе с неподвижным слоем и дрожжами, нанесенными на гранулы из DEA-целлюлозы, при температуре от 10 до 20 °С и избыточном давлении 0,5 бар). В настоящее время на практике в дрожжевом реакторе созревает не «биореакторное пиво», а пиво, обычно сброженное в ЦКТб и осветленное в центрифуге для молодого пива до содержания 10 тыс. дрожжевых клеток/мл. Для пива, созревшего по такой технологии и характеризующегося по сравнению с нормальным пивом при нормальном содержании высших спиртов примерно вдвое меньшим содержанием сложных эфиров, уже не тре-

буется дополнительной холодной выдержки. Для карбонизации пиво охлаждают до 1 °С и оставляют в буферном танке на 1-3 сут. Такой реактор можно эксплуатировать в течение 4-6 мес. с возможностью регенерации материала носителя. Подобное оборудование имеет особое значение для производства безалкогольного пива с приостановленным процессом брожения (см. раздел 7.10.4.2).

3.6.4. Непрерывные способы брожения

Различают две системы установок непрерывного типа независимо от их технического оснащения.

3.6.4.1. В приточных системах происходит смешивание подаваемого сусла с бродильным субстратом — простейшим устройством является бродильная установка из одной емкости (с месильным органом или без него). Благодаря подаче сусла в ней создается и поддерживается однородная бродильная среда. В установках из нескольких емкостей брожение смещается на одну технологическую операцию, причем в последней в основном форсируется процесс восстановления диацетила.

3.6.4.2. В проточных системах в идеальном случае не происходит смешивания жидкостей с различной степенью сбраживания — напротив, в каждой точке бродильный субстрат характеризуется совершенно определенной удельной массой. По мере усиления расхода достигается желаемое снижение удельной массы пива. Во всех методах используется сусло, освобожденное от взвесей охлажденного сусла, а его аэрирование производится средствами, позволяющими регулировать размножение дрожжей. Размножение дрожжей осуществляют так,

чтобы компенсировать потери. Нормативные показатели аэрирования — 2-5 л воздуха/гл сусла. Концентрация дрожжей чаще всего высока (2-15 кг дрожжей/гл сусла), температуры брожения варьируют от 20 до 30 °С. Энергия брожения может быть повышена за счет циркуляции, однако зачастую достаточно естественной циркуляции, обусловленной подачей сусла. В промышленных масштабах применяют запатентованные способы *Кутса (Coutts)*, *APV* и *Бишона (Bishop)*.

3.6.4.3. Способ Кутса. 18 %-ное сусло, полностью очищенное от осадка взвесей охлажденного сусла (благодаря седиментации в течение 48 ч при температуре 0 °С), разбавляют подачей теплой воды до концентрации 13 %, доводят до температуры 14,5 °С и подмешивают воздух (6 мг/л сусла). Перед впуском в два последовательно соединенных подготовительных резервуара вносят дрожжи и бродящее пиво из главного ферментера, благодаря чему снижается значение pH и обеспечивается защита от инфицирования. При переходе из одного подготовительного резервуара в другой кислород оказывается уже потреблён дрожжами. Сусло, подаваемое в главный ферментер и смешанное с дрожжами и бродящим пивом (16 г/л), сразу же перемешивается с жидкостью со стабильными характеристиками (экстрактивность 4,3 %, содержание дрожжей 27-34 г/л, значение pH 4,15). Продолжительность пребывания в ферментере — 24 ч. В нем присутствует смесь из размножающихся дрожжей и уже не размножающихся дрожжей, способная восстанавливать диацетил или 2-ацетолактат, а также снижать содержание других нежелательных вкусовых веществ.

Из главного ферментера пиво подают в дополнительный ферментер, в котором поддерживаются стабильные усло-

вия — экстрактивность 3,0 %, значение рН 4 и содержание дрожжей до 40 г/л. В нём количество размножающихся дрожжей крайне мало, так как аминокислоты и другие питательные вещества в основном оказываются уже потребленными.

С этой емкостью соединен чан для отделения дрожжей, в котором содержание дрожжей снижается до 2 г/л. Часть дрожжей возвращается в подаваемое сусло, а основная их часть — через аппарат для промывки дрожжей в резервуар для их хранения. С промывной водой из дрожжей отводится связанное ими пиво — она служит для разбавления 13 %-ного пива до требуемого значения массовой доли СВ начального сусла. Пиво охлаждают, карбонизируют, вносят карамельный колер, изомеризованный экстракт, хмелевое масло и т. д. и через 2-4 сут холодной выдержки оно готово к фильтрованию. Из пива-основы с концентрацией 13 % можно приготовить 3-4 различных типа пива. Произведённое таким способом пиво обладает чистым вкусом, однако по европейским меркам несколько размытым (во многом это зависит от свойственных той или иной стране привычек).

3.6.4.4. По технологии APV используют ЦКТб, высота которого для производительности около 200 гл пива/сут составляет 7 м. Сусло в этом аппарате сбраживает-

ся в условиях высокой концентрации дрожжей (15 кг/гл) и при температуре 29 °С снизу вверх проточным способом. Продолжительность брожения при этом составляет 2-8 ч, а созревание осуществляется периодически в дополнительных танках.

3.6.4.5. Способ Бишона. Используется многоступенчатая приточная система. Пиво, проходя через два бродильных чана (с мезильными органами), окончательно сбраживается, а осаждение дрожжей осуществляется в третьем ЦКТ. Минимальный ресурс подобной установки составляет 3 мес., причем её можно эксплуатировать без риска инфицирования до 13 мес.

Так как при этих способах применяются высокие температуры, в готовом пиве вследствие повышенного содержания кислот наблюдается существенное снижение значения рН. В литературе нередко отмечается повышенное образование летучих сернистых соединений и меркаптанов, ацетальдегида, сложных эфиров и высших спиртов. Эти побочные продукты зачастую придают пиву фруктовый, терпкий, горький или эфирный привкус, который после бутилирования или пастеризации при известных условиях уменьшается.

4. Фильтрация пива

Розлив созревшего пива осуществляют в транспортные емкости — бочки, кеги, бутылки или банки. Он осложняется тем, что после главного брожения и дображивания пиво находится в чане для дображивания при низких температурах и определенном избыточном давлении, а также содержит CO_2 . Пиво должно перекачиваться из чана для дображивания в транспортные емкости без потерь CO_2 , и это требование может выполняться только при розливе под противодавлением и при низких температурах.

Пиво также должно сохранять не только безупречный вкус, но и прозрачность (с блеском). Естественным путем прозрачность пива может быть достигнута благодаря осветлению, происходящему при дображивании темных сортов пива (для светлых сортов оно не свойственно), и поэтому пиво осветляют искусственно, то есть его фильтруют или центрифугируют. Преимущественно применяют фильтрацию, так как в этом случае из пива удаляются не только взвешенные частицы мути (высокомолекулярные

белки в виде белковых соединений дубильных веществ и горьких веществ хмеля — хмелевые смолы), но и дрожжи. При искусственном осветлении можно также удалить присутствующие в пиве бактерии, способные привести к порче пива. Благодаря фильтрации улучшаются свойства пива — оно становится более прозрачным, а в результате удаления взвесей биологической и небиологической природы повышаются его органолептические свойства и стойкость.

Фильтр располагают на линии розлива между танком для дображивания и аппаратом розлива.

4.1. Теоретические основы фильтрации

Взвешенные частицы мути различают по степени фильтруемости, зависящей от их размера. При этом различают следующие вещества.

Крупные дисперсные частицы (размер более 0,1 мкм). При микроскопировании видно, что они представляют собой коагулированный белок дрожжей или бактерий.

Коллоидные вещества (размер от 0,001 до 0,1 мкм) большей частью обнаруживаются эмпирически в дегустационном бокале благодаря преломлению света (метод Тиндаля-Кегеля). Коллоидные вещества состоят из белковых соединений дубильных веществ, гумми-веществ и хмелевых смол. Снижение доли коллоидов улучшает физико-химические свойства пива, его стойкость, но снижает пенообразующую способность и полноту вкуса пива.

Молекулярные дисперсные частицы (размер менее 0,001 мкм) не обнаруживаются визуально и присутствуют в виде молекул или их цепей.

Методы искусственного осветления основаны на трёх различных процессах, которые применяют либо по отдельности, либо в их сочетании.

Седиментация. При центрифугировании благодаря центробежной силе отделяются крупные дисперсные частицы в зависимости от их диаметра и числа оборотов; отделения коллоидов не происходит.

Фильтрация. Возможность удержания всех частиц, превышающих по размеру поры фильтра, зависит от пропускной способности сита (фильтра). В зависимости от диаметра пор наряду с частицами мути могут удаляться также крупные коллоиды.

Адсорбция. С помощью адсорбции наряду с крупными дисперсными частицами (в зависимости от химического средства к фильтровальному материалу или соответствующего электрического заряда) удаляются также коллоиды и даже растворённые вещества.

При использовании сочетания двух последних процессов можно задерживать на фильтре дрожжи и бактерии, а также крупные коллоиды. В этом отношении адсорбция изменяет структуру пива — чем незначительнее содержание коллоидов, тем лучше его физико-химическая стабильность и степень осветления, однако наблюдается ослабление пеностойкости и снижение полноты вкуса.

В зависимости от механизма осветления отделяются различные группы веществ, а также изменяется воздействие фильтровального материала в ходе фильтрации. Пропускная способность по мере забивания фильтра постепенно снижается (поры становятся всё меньше) и уменьшается влияние адсорбции. Адсорбция красящих веществ и ПАВ происходит очень долго. Значение pH под воздействием ионов воды, используемой для промывки, изменяется — гидрокарбонаты повышают pH пива, причем ионы Ca^{2+} могут стать причиной появления нежелательных оксалатных примесей. Адсорбционное воздействие фильтровального материала влияет не только на вещества, образовавшиеся при коллоидном помутнении пива вследствие сильного охлаждения, но и на сами коллоиды, обуславливающие пенообразующие свойства и полноту вкуса пива. После фильтрации вкус пива некоторое время бывает несбалансированным и зачастую горчит. Лишь через несколько суток вновь формируется гармоничный вкус, зависящий от степени дисперсности остаточных коллоидов. При очень тонком фильтровании адсорбирующими материалами наблюдается (скорее всего, из-за потери редуцирующих или горьких веществ) повышение стойкости пива к инфицированию на линии розлива.

Различные фильтрующие материалы — хлопок (масс-фильтры), целлюлоза (пластинчатые фильтры), кизельгур и перлит — различны по своей фильтрующей способности.

При использовании *хлопкового фильтра* существует возможность изменения пропускной способности фильтра за счет разной силы сжатия и давления на фильтровальный осадок. Хлопковый фильтр характеризуется слабой адсорбцией (но лучшей, чем кизельгур), но ее можно повысить благодаря добавлению целлюлозы и посредством увеличения длительности фильтрования.

Намывные фильтры с фильтрующими слоями благодаря сильному сжатию характеризуются высокой пропускной способностью. Степень адсорбции фильтрующих слоев зависит от подготовки их составных частей (целлюлозы и т. д.). Для гарантии желаемой адсорбции фильтрующая нагрузка на 1 м^2 должна быть незначительной.

Кизельгур практически не обладает адсорбционной способностью, но ее можно повысить благодаря добавлению целлюлозы, активированного угля или стабилизаторов. Пропускная способность кизельгурового фильтра зависит от выбора степени дисперсности кизельгура или перлита. Фильтрующая способность кизельгурового фильтра может относительно постоянно поддерживаться благодаря текущему дозированию вспомогательных фильтрующих средств.

Из-за различного воздействия фильтров при высоких требованиях к стойкости пива целесообразно разделять задачи по предварительному осветлению пива и по тонкому фильтрованию.

Способ осветления пива выбирают по способности мембранного фильтра с различным размером пор (0,2-12 мкм)

отделять частицы мути, чему помогает опытное фильтрование в небольших объемах.

Проще всего провести тест, в рамках которого некоторое количество фильтрата фильтруется при постоянном давлении через мембрану с размером пор 0,2 мкм). По результатам этого теста определяется показатель G_{max} , служащий в качестве сравнительного показателя фильтруемости. При плохой фильтрующей способности он составляет ниже 10, а при хорошей — выше 50. Показатель G_{max} тесно связан с содержанием гелеобразного β -глюкана (см. раздел 7.7.1.1). Содержание дрожжей в пиве может несколько исказить результаты в сторону завышения.

В ходе другого теста нефильтрованное пиво фильтруют с постоянной скоростью через обычный производственный кизельгур и в течение определенного времени измеряют возникающее давление. При этом наблюдается хорошая взаимосвязь между результатами опытного фильтрования и реального. Для выявления степени влияния фильтрационного осадка (остатка на фильтре) по Райбле (*Raible*) пиво фильтруют 24 ч при 0°C через металлическую ткань с размером пор 15 мкм, причем фильтрование через намывной фильтр ведется при постоянном давлении. По объему фильтрования и его длительности рассчитывают коэффициент фильтрования. По степени влияния остатка на фильтре экстраполируют удельный объем фильтрования. Данный тест применяют при выборе типа кизельгура.

Для обеспечения приемлемой степени фильтрования необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Давление перед фильтром должно превышать давление насыщения пива CO_2

при соответствующей температуре. Давление перед фильтром в ходе фильтрования возрастает по мере забивания пор фильтра и уменьшения их размеров. При одной и той же производительности фильтра при этом усиливается скорость поступления фильтрата внутрь фильтра. Из-за высокого перепада давлений через фильтр могут «продавливаться» уже адсорбированные вещества и дрожжи. Необходима также достаточная *фильтрующая поверхность*. На увеличении давления сказывается также *продолжительность фильтрования*, поскольку давление зависит от степени мутности и коллоидной структуры пива. При фильтровании, например, инфицированного пива может понадобиться снижение *скорости фильтрования*.

Решающее значение при фильтровании имеет *температура пива*. Пиво в отделении дображивания при минусовых температурах по пути к фильтру и при фильтровании не должно нагреваться, иначе произойдет повторное растворение частиц мути, подлежащих удалению. Рекомендуется поэтому до фильтрования включить быстрое глубокое охлаждение, снижающее температуру промывной или деаэрированной воды (воды для намывания фильтрующего слоя), что позволит обеспечить необходимую в процессе фильтрования температуру.

4.2. Способы фильтрования

Способы фильтрования подразделяют на способы предварительного (грубого) осветления и на способы более тонкого фильтрования — соответственно с применением масс-фильтра, кизельгурового фильтра, центрифуг и, наконец, пластинчатого

фильтра (фильтр-пресса). Конструкция различных фильтров рассмотрена ниже.

4.2.1. Масс-фильтр

Фильтровальный материал (фильтрационная масса) состоит из хлопкового пуха, к которому прежде обязательно добавляли незначительную долю асбеста. После запрещения использования асбеста стали применять целлюлозу после ее предварительной обработки. При исчерпывании ресурсов фильтра фильтрационную массу промывают в отдельном аппарате и прессуют в диски одинаковой толщины. Для масс-фильтров характерны большие трудо- и энергозатраты, а также большое количество воды для восстановления фильтровальных средств.

Поскольку фильтрование с помощью масс-фильтров в ФРГ сохранилось лишь на небольших пивоваренных предприятиях, мы приведем лишь краткие сведения о масс-фильтрах.

4.2.1.1. Масс-фильтр состоит из определенного количества бронзовых фильтрующих чаш, расположенных в раме с подвижной головной частью. В эти фильтрующие чаши диаметром 525 мм и глубиной 60 мм помещается фильтрационная масса. Пиво поступает на ребристую чашу, распределяется равномерно и продавливается через фильтрационную массу, после чего собирается на стороне отфильтрованного пива и отводится через соответствующие каналы. Благодаря наличию промежуточного канала в середине фильтра пиво можно фильтровать дважды.

4.2.1.2. Фильтрационная масса состоит из очищенного и обезжиренного хлопкового пуха. В ходе эксплуатации фильтра

уменьшается длина хлопковых волокон, из-за чего снижается производительность, но качество фильтрования повышается. Сухая масса фильтра составляет около 3 кг и после промывки и стерилизации пневматически или гидравлически прессуется под давлением 3,5-5 бар (при этом слои фильтрационной массы должны быть одинаковой толщины). В фильтрационной массе содержится 65-70 % воды.

Промывку фильтрационной массы для удаления отфильтрованных частиц мути проводят холодной и горячей (80-85°C) водой в специальном аппарате. Для этого требуется примерно 200 мин, 150-200 л воды и 10 кг пара на 1 кг сухой массы. Стерилизация горячей водой при 90 °С собранного фильтра дает экономию 50 л воды.

4.2.1.3. Процесс фильтрования. Из охлажденного фильтра, промытого холодной водой (желательно температурой 1 °С, достигнутой в охладителе), должен быть полностью удален воздух. Выход первого разбавленного водой фильтрата, концентрированного первого сула и особенно образующиеся промывные воды, здесь имеет большее значение, чем при фильтровании на кизельгуровом фильтре. То же относится и к остатку на фильтре, который может попадать из одного сорта пива в другие. В ходе фильтрования создается сопротивление фильтрации, которое в начале фильтрования составляет от 0,3 до 0,5 бар, а затем каждый час возрастает на 0,1-0,2 бар. Примерно через 8 ч фильтрования достигается перепад давлений в 1,5-2 бар, существенно повышающий скорость прохождения пива через все уменьшающиеся поры фильтра. Благодаря этому отделяются адсорбированные вещества (белки, микроорганизмы

и дрожжи). Производительность масс-фильтра при нормальном освещении пива составляет около 1,5 гл/ч, а при снижении производительности до 1,0 гл/ч можно обеспечить (прежде всего при двойном фильтровании) эффект стерилизующего (обеспложивающего) фильтра. Двойное фильтрование оправдывает себя лишь при необходимости высококачественной фильтрации (расходы на нее относительно невелики благодаря сочетанному использованию фильтров грубой и тонкой очистки).

4.2.1.4. Рационализировать фильтрование с помощью масс-фильтра можно благодаря центрифуге для тонкого осветления. В данном случае масс-фильтр может решать больше задач — например, его можно применять при так называемом «полирующем фильтровании». По окончании каждого цикла фильтрования (8-10 ч) фильтр промывают (методом обратной промывки) и стерилизуют в теплообменнике с помощью циркуляции горячей воды. Фильтр можно использовать 3-4 раза без дорогостоящего процесса промывки.

4.2.2. Кизельгур

Принцип фильтрования с помощью кизельгура основан на том, что в поток пива вводят вспомогательное фильтрующее средство — в данном случае кизельгур, который в дальнейшем намывается на ткань, закрепленную на каркасе.

4.2.2.1. Кизельгур (диатомовая или инфузорная земля) состоит из маленьких частиц (размеры 40-160 мкм в длину и 2-5 мкм в ширину) одноклеточных инфузорных водорослей-диатомитов, залежи которых обнаружены в США, Канаде,

Италии, Франции и Германии. Сырой кизельгур очищают от органических примесей и песка прокаливанием при температуре 700-900 °С. Также должны удаляться карбонаты и оксиды железа (прокаленный или кальцинированный кизельгур, как правило, используют для тонкого фильтрования).

При введении флюса (NaCl , CaCO_3) уже прокаленный при 1000 °С кизельгур подвергается повторному прокаливанию. При этом точка плавления диоксида кремния диатомитов снижается, и диатомы спекаются в более крупные агломераты, благодаря чему после измельчения образуется белый крупный кизельгур, применяющийся для ускоренного фильтрования. В результате воздушного сепарирования происходит качественное разделение кизельгура по степени измельчения. Различная структура кизельгура обуславливает его разную фильтрующую способность. Диатомы в форме игл фильтруют медленно и тонко, в форме ножа или гребня — со средней скоростью, а большие четырехугольные или круглые диатомы фильтруют быстро, но с невысокой степенью фильтрации. Коэффициент адсорбции у кизельгура незначителен (0,4-0,5 по сравнению с 20 у фильтрационной массы и 1000 у запрещенного асбеста); однако у тонкого специального непрокаленного кизельгура он больше, чем у грубого. В кизельгуре содержится 85-90 % кремниевой кислоты, а также около 4 % оксида алюминия. Содержание железа не должно превышать 0,1 %, а значение pH должно находиться вблизи нейтральной точки. Проба на вкус (3 г кизельгура в 100 мл водопроводной воды) через 24 ч должна быть отрицательной. В лабораторных условиях выявляют количество непригодных для намывания компонентов кизельгура и его

проницаемость. Проницаемость кизельгура указывается или в виде «водного эквивалента» WW (количество воды, которое прошло за час через определенный намывной слой при данных условиях) — у мелкого он меньше 35, у среднего — от 35 до 130, у крупного — 130-320, у очень крупного — свыше 320 — или в виде «показателя водопроницаемости» WDK (количество воды, прошедшее через испытываемый кизельгур за заданное время опыта в установленных условиях) — у мелкого он меньше 30, у среднего — 30-60, у крупного — 60-100, у очень крупного — свыше 100. По этим показателям можно сравнивать пропускную способность намывного слоя и осуществлять необходимые изменения.

Белая окраска кизельгура не свидетельствует о его чистоте, а красная окраска указывает на наличие оксида железа. Кизельгур со слабым окрашиванием вполне пригоден для использования. Различные типы кизельгура для тонкого фильтрования не прокаливают, из-за чего имеется риск возникновения в пиве «земляного» привкуса; кроме того, причиной образования различных побочных запахов может быть неправильная транспортировка кизельгура несмотря на его упаковку в бумажные мешки. При доставке кизельгура необходим его органолептический контроль.

Для фильтрования применяют также такой вспомогательный материал, как перлит. В данном случае речь идет о стекловидной горной породе вулканического происхождения, которую перед применением прокаливают и измельчают. Вследствие объемного расширения породы перлит на 25 % легче кизельгура. Скорость фильтрования через перлит зависит от его сорта.

Восстановленный кизельгур после прессования и сушки прокаливают при

температуре 700-780 °С. В результате обработки изменяется структура кизельгура. Восстановленный кизельгур используют при фильтровании в смеси с новым кизельгуром (в соотношении примерно 1:1). Восстановленный щелочью кизельгур (кизельгур перемешивается в течении 1 ч при 80-90 °С с 5 %-ным раствором NaOH и поочередно промывается через вакуумный ленточный фильтр водой, кислотой и снова водой) может использоваться до 5 раз.

При фильтровании кизельгуром для упрочнения и разрыхления фильтрующей массы добавляют целлюлозу, которая наряду с кизельгуром и определенными смолами является основой для опорных слоев при фильтровании на кизельгуровом фильтре. Целлюлозу получают из лиственной и хвойной древесины с удалением лигнина и гемицеллюлозы.

Активированный уголь получают из скорлупы каменного ореха (плод пальмы фителефас), различных видов древесины и костей. Он характеризуется большой пористостью и огромной внутренней поверхностью пор.

Силикагель является селективно действующим стабилизатором (см. раздел 7.6.4.1). Силикагели подразделяют на «сухие» (ксеро-)гели с незначительной фильтрующей способностью (*WW* 3-30, *WDK* 11-25) и «влажные» (гидро-)гели (*WW* 150-240, *WDK* 80-110).

4.2.2.2. Существуют *различные кизельгуровые фильтры* — например, кизельгуровый рамный фильтр-пресс и намывной дисковый фильтр, которые располагают либо вертикально, либо горизонтально, а также щелевой фильтр со специальными фильтрующими элементами из навитой профильной проволоки или дисков, образующих благодаря выступам зазоры

определенной ширины. Каждому фильтру необходим дозатор для равномерной подачи кизельгура.

Рамный фильтр-пресс состоит из станины с пластинами и камерами из легированного алюминия, покрытого лаком для тепловой сушки, из анодированного материала или из высококачественной стали. На рифленые пластины навешиваются фильтрующие слои (опорный картон), состоящие из целлюлозы и кизельгура (картон пропитан специальным средством, благодаря которому его можно промывать и длительное время использовать). Опорный картон имеет поры шириной 4-6 мкм, задача которых состоит лишь в задержке намываемого кизельгура. Слои картона должны заменяться на новые после 15-20 циклов фильтрования (500-1000 гл/м² фильтрующей поверхности). Опорные слои, содержащие наряду с целлюлозой синтетические микроволокна, характеризуются более длительным (на 50 %) сроком эксплуатации. Особое значение для равномерной помывки имеет деаэрация фильтра, осуществляемая посредством деаэрирующих фонарей, расположенных над фильтрующими пластинами и рамами для нефильтрованного и фильтрованного пива. Рамный фильтр-пресс бывает различных типоразмеров (40 x 40 = 0,16 м², 60 x 60 = 0,36 м², 100 x 100 = 1 м², 140 x 140 = 2 м²). Производительность на 1 м² фильтрующей поверхности составляет 3-3,5 гл/ч, так что при определенных типоразмерах в зависимости от числа фильтрующих элементов может быть достигнута максимальная производительность фильтра в 50, 200, 500 гл/ч и более.

Намывной дисковый фильтр представляет собой вертикальный цилиндр с фильтрующими элементами из тонкой металлической ткани. Каждые два элемента

соответственно разделены крупноячеистой тканью и насажены на полую трубу, которая входит в общий канал. Все фильтрующие элементы находятся в герметично закрытом резервуаре. Пиво, смешанное с кизельгуром, поступает в резервуар снизу. Дозируемый кизельгур осаждается на предварительном слое кизельгура (о нанесении предварительного слоя см. раздел 4.2.2.4), и осветленное пиво попадает через полый вал в общий канал и отводится из фильтра. Производительность такого фильтра составляет $4,5\text{--}6\text{ гл/м}^2$, что превышает производительность рамного фильтр-пресса. Намывной дисковый фильтр используется, как правило, для дополнительного фильтрования, так как с началом фильтрования уносится кизельгур и производительность в целом становится ниже. Очистку фильтра осуществляют посредством промывки ткани струей воды. Производительность фильтра может составлять до 500 гл/ч .

Намывной дисковый фильтр горизонтального типа. В этом случае круглые фильтрующие элементы расположены горизонтально на вертикальном пустотелом валу. Фильтрующие элементы состоят из хромоникелевой подложки, крупной решетки и мелкоячеистой стальной (V4A) ткани с размером пор 80 мкм , которая задерживает дозируемый кизельгур. Зазор между фильтрующими элементами составляет 25 мм . Нефильтрованное пиво или вода для намывки поступают вместе с дозируемым кизельгуром сверху. Поток нефильтрованного нива распределяется вдоль стенок фильтра по всей фильтрующей поверхности. Равномерное распределение должно обеспечиваться высокой скоростью потока, ламинарным его течением и т. д. Отфильтрованное пиво попадает через сито и подложку из высококачественной стали в центральный

пустотелый вал. Полная очистка фильтра достигается благодаря особому соединению нижних фильтрующих элементов. После окончания фильтрования кизельгур, подсушенный благодаря оборотам фильтрующего сита (300 об/мин), отбрасывается и удаляется в пастообразном виде. Данный тип фильтра характеризуется пропускной способностью $4,5\text{--}5\text{ гл/м}^2$ и выпускается производительностью до 500 гл/ч . Производительность определяется фильтрующим давлением и поглощающей способностью кизельгура ($6,5\text{ кг/м}^2$).

Фильтр новой конструкции состоит из расположенных друг над другом горизонтальных фильтрующих элементов со встроенными каналами, обеспечивающими поступление фильтруемой жидкости. Эти каналы расположены вокруг центрального вала, предназначенного для выхода осветленного пива. Нефильтрованное пиво протекает в зазоре между фильтрующими элементами с внутренней стороны на внешнюю, проходит через слой кизельгура и сито, после чего фильтр подводится к центральному валу. Благодаря такой конструкции становится возможным увеличить скорость потока. Производительность такого типа фильтра составляет примерно $7,5\text{ гл/м}^2\text{ ч}$ — ее можно достичь посредством увеличения зазора между фильтрующими элементами на 35 мм и, следовательно, слоя кизельгура (10 кг/м^2).

Щелевой фильтр, еще один тип фильтра в виде котла, представляет собой каркас из трех металлических прутьев, на которые нанизаны шайбы из высококачественной стали. С одной стороны эти шайбы гладкие, а с другой покрыты рифлями одинаковой высоты. При наложении шайб гладкая сторона накладывается на сторону с рифлями, в результате

чего образуются узкие щели размером 50 x 120 мкм, в которых удерживается намываемый кизельгур и через которые протекает фильтруемое пиво (в стандартном фильтре длиной 120 см насчитывается свыше 10 000 щелей). Мутное пиво, поступающее в фильтр снизу, проходит через эти щели и попадает в центр фильтра, где проходит вдоль промежуточной пластины, которая скрепляет фильтрующие элементы и разделяет пространство для нефильтрованного и фильтрованного пива. Пропускная способность такого фильтра составляет 4,5-5 гл/м²; фильтры выпускаются в различных модификациях производительностью до 500 гл/ч.

Намывной свечной фильтр с навитой профильной проволокой. Фильтрующими элементами в данном случае служат перфорированные трубки, обмотанные нержавеющей профильной проволокой сечением 1 x 2 мм. Одна свеча при длине 1,4 м характеризуется фильтрующей поверхностью в 0,2 м². При намотке профильная проволока образует щели шириной 50 мкм. Пиво подводится в нижнюю конусную часть фильтра так, что в нижних слоях пива и воды или различного пива (головной фильтрационный остаток и неразбавленное фильтруемое пиво) не образуются турбулентные потоки. Производительность такого фильтра составляет 5-6 гл/м² в час.

Для всех фильтров цилиндрической формы с коническим дном (в виде котла) необходим нагнетательный насос для обеспечения равномерного давления в ходе фильтрования. Автоматизация фильтрования, очистки и стерилизации как намывного рамного фильтра, так и цилиндрического фильтра с коническим дном в настоящее время вопрос технический.

Цилиндрические фильтры с коническим дном можно применять не

только для фильтрования пива, но и для его стабилизации при обычном фильтровании или в комбинации с гидрогелем или поливинилпирролидоном (ПВП) (см. раздел 7.6.4.1).

4.2.2.3. Дозаторы служат для равномерной подачи кизельгура (под давлением) в поток пива в соотношении 1 часть кизельгура на 3-4 части жидкости). При этом образуется взвесь кизельгура в воде, пиве или микробиологически чистой воде для намывки кизельгура и вытеснения пива. При небольшой производительности (до 20 гл/ч) используется бак-дозатор, дозирующий пиво порциями с необходимым количеством кизельгура. При большей производительности применяют дозаторы с медленным месильным органом и поршневым насосом, осуществляющим регулируемое дозирование. Предварительное нанесение слоев с необходимым количеством жидкости осуществляется с помощью центробежного насоса.

4.2.2.4. Фильтрование через кизельгур на опорном пластинчатом фильтре-прессе. Непосредственно перед началом фильтрования предварительный слой из кизельгура наносит на опорные слои фильтра с водой. Этот слой гарантирует, что первая партия пива, ушедшая на фильтрование, выйдет из фильтра полностью отфильтрованной. При этом большое значение имеет равномерное распределение намываемого слоя, что достигается лишь при полном удалении воздуха. Фильтр заполняется водой со скоростью в 1,2-1,3 раза большей, чем скорость фильтрования; из фильтра вытесняется воздух, после чего наносят предварительный слой. Чтобы нанести последний основной слой кизельгура, при намывке

следует немного приоткрыть кран для стравливания воздуха и не зажимать до предела пластины фильтр-пресса. В целях экономии намывной воды применяют ее рециркуляцию. На предварительную намывку расходуется 700-1000 г кизельгура/м². Целесообразно распределять кизельгур для предварительной намывки: для первого слоя расход крупного кизельгура должен составлять 300 г/м² — это необходимо для предотвращения проникновения кизельгура в фильтрат и упрощения его отделения при очистке фильтра, для чего также добавляют 30-50 г волокон целлюлозы/м².

В качестве второго предварительного намывного слоя используют только мелкий кизельгур (100-150 г/м²), придающий фильтрующим перегородкам «эластичность». В заключение наносят смесь для текущего дозирования, к которой при необходимости добавляют 20 г целлюлозы/м². При образовании противодавления происходит переключение с потока деаэрированной воды на поток пива. До значения массовой доли СВ начального сусла 5-6 % отводится смесь «вода-пиво», а начиная с этой концентрации до массовой доли СВ начального сусла 90 % идет перекачивание в танк для первого сусла. В ходе фильтрования пива равномерно дозируется смесь из крупного и мелкого кизельгура (в количестве 70-100 г/гл). В зависимости от состава смеси пропускная способность фильтрующего слоя может составлять *WW* 25-33, в виде показателя водопроницаемости *WDK* — 35-40. При этом следует учитывать, что эти значения не могут быть получены путем расчета среднего, а определяются для различных смесей кизельгуров только экспериментально. При дозировании более грубого кизельгура (*WW* - около 50, *WDK* - около 60)

фильтр используется для предварительного фильтрования. При необходимости очень тонкого фильтрования можно использовать фильтр только с мелким кизельгуром (*WW* около 20, *WDK* около 25). Количество кизельгура зависит от степени мутности пива, а при дозировании мелкого кизельгура его расход увеличивается. Определить количество кизельгура можно также по прозрачности фильтрата, а также по часовому повышению разности давления на фильтре (нормальная разность давлений составляет 0,2 бар и не должна превышать 0,3 бар). Слишком быстрое повышение разности давлений свидетельствует о недостаточном количестве кизельгура, то есть о недопустимом соотношении кизельгура и частиц мути. Кроме того, при дозировании мелкого кизельгура может забиваться фильтрующий слой, что приводит к снижению пропускной способности. С учетом вышеизложенного расход кизельгура при текущем дозировании может колебаться в широких пределах от 70 до 150 г/гл. В процессе восьмичасового фильтрования на фильтре возрастает сопротивление (на 2-2,5 бар), и фильтрация прекращается. Пиво вытесняется из фильтра водой, при этом возникают аналогичные первому суслу пригодные и непригодные промывные воды (головные и хвостовые фильтрационные остатки, так называемые «погоны»). Продолжительность фильтрования на опорном пластинчатом фильтр-прессе составляет при нормальных условиях фильтрации 10-14 ч, а количество отфильтрованного может достигать 50 гл/м². Таким образом, производительность фильтра определить путем расчета фильтрующей поверхности невозможно.

Выгрузка кизельгура происходит при помощи отработанной воды, а затем

продувкой воздуха или скребком. Эти операции у крупных фильтров автоматизированы. Кизельгур может выгружаться также через днище фильтра шнеком на транспортер или вагонетку.

Чтобы уменьшить головной фильтрационный остаток подобно фильтрованию на цилиндрическом фильтре (см. ниже), у рамного фильтр-пресса предусмотрена возможность аналогичного режима работы.

Хвостовой фильтрационный остаток можно снизить благодаря продувке CO_2 ; при помутнении промывной воды ее следует перекачать в специальный танк для остатков. При открытии фильтра необходимо еще раз проверить равномерность намывки фильтрующего слоя. Фильтрующие элементы, предназначенные для повторного использования, после удаления кизельгура промывают холодной, а затем теплой водой. Далее проводят их стерилизацию паром или (лучше) горячей водой температурой 90°C (см. раздел 4.2.1.3), причем температура на выходе из фильтра должна составлять не менее 85°C , а продолжительность стерилизации — не менее 30 мин. Желательно использовать самописец температуры (при необходимости фильтр можно охлаждать ночью).

Намывной дисковый фильтр горизонтального типа действует так же, как и описанный выше опорный пластинчатый фильтр-пресс, однако конструкция этого фильтра обладает некоторыми особенностями. Фильтр заполняется водой и полностью деаэрируется. При указанном противодавлении происходит намывание кизельгура (с разделением на первую и вторую предварительные намывки) со скоростью, в 2 раза превышающей скорость фильтрования. Масса намываемого слоя составляет от 1000 до 1300 г/м^2 ,

что больше, чем у намывного рамного фильтр-пресса; в данном случае к первому предварительному слою добавляется 50-100 г целлюлозы/ м^2 и около трети от этого количества — ко второму. Затем воду вытесняют CO_2 и отводят ее в отдельную емкость для дальнейшего использования, поскольку в результате многократного фильтрования в ней практически нет микроорганизмов. Нанесение предварительных слоев можно проводить уже накануне стерилизации горячей водой (90°C). Как известно, горячая вода бедна кислородом. Горячая вода перед фильтрованием из фильтра удаляется, и начинается собственно фильтрование — введение в фильтр нефильтрованного пива с текущим дозированием. При переходе с одного сорта пива на другой фильтр может опорожняться путем продувки CO_2 через два нижних сита и затем заполняться вновь следующим сортом. Это требует некоторого времени, так как у нижних сит меньше пропускная способность. Существуют конструкции, у фильтрующих элементов которых благодаря соответствующему поплавку автоматически регулируется уровень жидкости. Фильтрующие слои после фильтрования содержат еще около $0,2 \text{ гл пива /м}^2$, которое отпрессовывается путем продувки CO_2 . Эти остатки могут вызвать потери, равные 0,4 % от рассчитанного количества фильтрованного пива. К потерям при фильтровании также относится пиво, впитанное кизельгуром (если оно не вымывается промывной водой). Большой частью кизельгур выгружается в пастообразном виде насосом для перекачки вязких сред. При такой выгрузке практически отсутствуют промывные воды, в связи с чем желательно извлекать пиво, содержащееся в фильтрующих слоях. Продолжительность фильтрования на

таком фильтре составляет 7-10 ч с пропускной способностью 35-50 гл/м².

Принцип действия патронно-щелевого фильтра. В начале фильтрования фильтр заполняется холодной водой и из него вытесняется воздух. Первая предварительная намывка (очень крупным кизельгуром) продолжается 5 мин, после чего осуществляется циркуляция воды в течение 10-15 мин до тех пор, пока вода не станет прозрачной. Вторая предварительная намывка (состав намываемого слоя — как при текущем дозировании) происходит так же. С началом фильтрования пива часовая производительность снижается примерно на 4 % в зависимости от концентрации головного фильтрационного остатка — эта смесь пива с водой, которую необходимо отвести, составляет около 7 % производительности; головной фильтрационный остаток с уже небольшим количеством воды (10-12 %-ное первое сусло) составляет около 8 %. Текущая намывка составляет примерно 100 г/гл; эта величина не постоянна и в зависимости от условий может меняться. Чтобы получить более качественный фильтрат, расход на текущее дозирование в первые 15 мин повышается в среднем на 20 %. Фильтрование длится 7-8 ч с повышением давления на 0,5 бар каждый час. Ресурс такого фильтра составляет 30-40 гл/м². Количество образующегося в конце фильтрования хвостового фильтрационного остатка несколько больше, чем головного, поскольку остаток на фильтре подвергается трудоемкому выщелачиванию. Возможно также фильтрование пива без головного и хвостового фильтрационных остатков. После заполнения цилиндрической емкости (патрона) фильтра водой последняя удаляется при помощи СО₂, и намывка осуществляется фильтруемым пивом. В конце

фильтрования пиво выдавливается из фильтра СО₂, а оставшийся ретентат закачивается обратно в танк. При промывке фильтра (в течение примерно 10 с) кизельгур разбивается в разные стороны, и после короткой (около 5 мин) седиментации густой кизельгур выгружают.

Патронный фильтр с навитой проволокой. Режимы эксплуатации такого фильтра аналогичны вышеописанному. В конце фильтрования его пропускная способность составляет, как правило, около 50 гл/м²; пласт из кизельгура и осадка разбивается смесью сжатого воздуха и воды в противотоке. Затем эта смесь гомогенизируется в конусной камере для ретентата, и под напором воздуха происходит выгрузка пастообразного кизельгура.

4.2.2.5. Общие замечания. Расход кизельгура в зависимости от продолжительности цикла фильтрования составляет для предварительной намывки — 20-50 г/гл и для текущего дозирования — 80-150 г/гл (в общей сложности от 100 до 200 г/гл).

При плохой фильтруемости пива расход кизельгура в определенных условиях может быть вдвое выше. Расход воды на полный цикл фильтрования составляет: на промывку и очистку фильтра — 1,8 гл холодной воды/м², на стерилизацию — 1,1 гл горячей (95 °С) воды/м², на выработку пара — 12 кг/м².

Химическую очистку горизонтального и патронно-щелевого фильтров проводят еженедельно, а свечной (патронный) фильтр необходимо очищать примерно раз в месяц. На процесс очистки расходуется 3 л 2-5 %-ного NaOH/м², 0,8 л 1-2 %-ного HNO₃/м², 2 гл горячей и холодной воды/м². Тем самым очевидно, что на продолжительность одного цикла фильтрования оказывает влияние

не только расход кизельгура, но и потребление воды, энергии и, при необходимости, химических реактивов.

Очень важно после каждого цикла фильтрования *полностью* очистить от кизельгура и остатков на фильтре фильтрующие элементы (свечи, проволочные сита). Кизельгур и фильтрационный остаток от предыдущего фильтрования могут вымываться из щелей и ячеек фильтрующих элементов, что приводит к уничтожению основы для намывки второго слоя и тем самым — к попаданию в фильтрат частиц мути (в частности, дрожжей).

Чтобы избежать повреждений фильтрующих систем на основе кизельгура от гидравлических ударов, возникающих при начале фильтрования, перед фильтром встраивают буферный танк (на 20-30 % часовой пропускной способности). Этот буферный танк также принимает на себя «дрожжевые удары», возможные при дозировании пива с высокой степенью мутности. При переходе в процессе фильтрования с одного сорта пива на другой бывает необходим второй танк, позволяющий уменьшить риск смешивания сортов, однако при этом необходимо осуществлять циркуляцию во всех системах до выравнивания уровня в буферном танке. Целесообразно также при помощи буферного танка или стабилизатора давления предохранять выпускное отверстие фильтра.

4.2.2.6. Фильтрование с использованием кизельгура позволяет получить требуемые свойства пива (степень осветлённости, вязкость, прозрачность с блеском, микробиологическая селективность) благодаря количеству и «топкости» дозирования. Адсорбционный эффект у кизельгура незначителен, однако его можно

повысить путем введения целлюлозы или искусственных волокон в количествах, приведенных в разделе 4.2.2.1. Иногда применяют и добавки активированного угля (5-20 г/гл) или препаратов на основе кремниевой кислоты (20-100 г/гл). При определении степени измельченности кизельгура необходимо учитывать различную пропускную способность этих препаратов (ксеро- и гидрогелей, см. раздел 4.2.2.1).

При анализе показателей пропускной способности и производительности можно отметить большие различия между опорно-пластинчатым, намывным дисковым и цилиндроконическим фильтрами (эти показатели можно получить в лабораторных условиях). Например, у опорно-пластинчатого фильтра пропускная способность и производительность характеризуются соответственно показателями 4-4,5 гл/м² и столько же в час, и при такой производительности достигается оптимальная «нагрузка» на рабочий слой. Благодаря предварительной намывке и оптимальному дозированию кизельгура в цилиндроконический фильтр можно добиться примерно такой же производительности.

4.2.2.7. Двойное фильтрование на кизельгуровом фильтре. Трудно фильтруемое пиво из крупного танка или из емкостей для интенсивного способа ведения брожения и созревания зачастую выходит либо с неудовлетворительной степенью осветления, либо недостаточно отфильтрованным. Для двойного фильтрования такого пива используют так называемый «тандемный фильтр», где в первом фильтре проводится очистка при помощи грубого кизельгура (и, при необходимости, перлита); и после него мутность пива составляет 1-2 ед. ЕВС; во втором фильтре

проводится очистка только тонким кизельгуром. Здесь важно то, что кизельгур дозируют так, что оба фильтра характеризуются одинаковой производительностью и изнашиваются почти одновременно. Общий расход кизельгура составляет в этом случае 150-170 % по сравнению с обычным фильтрованием.

Как уже отмечалось в предыдущих разделах, для производства очень важна продолжительность фильтровального цикла — от нее зависят расход кизельгура, потребность в воде, энергии, химических реактивах и, естественно, объемы сточных вод. Для разгрузки кизельгурового фильтра используют центрифугу для тонкого осветления (см. раздел 4.2.5), при этом продолжительность фильтровального цикла увеличивается примерно вдвое.

4.2.3. Пластинчатый фильтр-пресс

Пластинчатый фильтр-пресс используют, как правило, для дополнительного фильтрования, причем фильтрующие пластины могут быть с разной степенью фильтрации. Такой фильтр можно применять также для полировочного и даже обеспложивающего фильтрования.

4.2.3.1. Конструкция фильтра представляет собой станину со сжатыми на пей фильтрующими слоями. Число фильтрующих пластин, их материал и размер аналогичны рамному фильтр-прессу (пластины из искусственных материалов оказались менее долговечными). Схема фильтрования та же, что и у масс-фильтра, то есть пиво подводится к каждой второй пластине, проникает через фильтрующий слой, собирается у соседней пластины и через канал выводится из фильтра. Производительность пластинчатого фильтр-пресса

зависит от пропускной способности фильтрующего слоя, а также от количества и размеров фильтрующих пластин.

4.2.3.2. Наполнителем для пластинчатого фильтр-пресса служат волокна целлюлозы из различных видов древесины, кизельгур, перлит, а также синтетические волокна. Эти компоненты обрабатывают смолами, повышающими их влагостойкость, в результате чего внутри фильтрующего слоя толщиной 4,2-4,5 мм создается развитая адсорбирующая поверхность, удерживающая частицы мути (белки, дрожжи и бактерии). Условием успешного фильтрования является незначительная скорость потока пива в каналах фильтрующего слоя. Прохождение пива сквозь слой длится 90-120 с. Вследствие наслоений на фильтрующих волокнах капилляры забиваются, поток пива снижается и вследствие большого перепада давлений принимает вертикальное направление. При этом повышается скорость потока внутри каналов, что приводит к ухудшению адсорбции мути или даже к смыву уже адсорбированных частиц. В результате фильтрование следует прекратить и начать промывку фильтра или произвести замену фильтрующих слоев. Необходимо также избегать гидравлических ударов, резко изменяющих скорость потока в каналах и вызывающих проникновение частиц мути сквозь фильтрующий слой.

При разной пропускной способности пластин достигается разная производительность:

- при стерилизующем или обеспложивающем фильтровании полностью отфильтровываются дрожжи и бактерии — производительность фильтра составляет 1,0-1,3 гл/м² ч, а пропускная способность фильтра (25-35 гл/м²);

- при высококачественном фильтровании полностью удаляются дрожжи и частично бактерии — производительность фильтра также составляет лишь 1,0-1,3 гл/м²·ч, а общая пропускная способность — 40 гл/м²; при этих двух типах фильтрования улучшается прозрачность с блеском первого филтрат на 0,08-0,2 ед. мутности ЕВС;
- при тонком фильтровании удаляется 95-100% дрожжей — производительность составляет 1,3-1,5 гл/м² ч, а пропускная способность одного фильтрующего слоя — 60-90 гл/м²; максимальная разность давлений на фильтре не должна превышать 1,5 бар; результат фильтрования — повышение прозрачности с блеском на 0,02-0,08 ед. мутности ЕВС;
- при полировочном или контрольном фильтровании до требуемого значения снижается содержание в пиве дрожжей, оставшихся из-за колебаний давления и гидравлических ударов при предварительном фильтровании; производительность составляет около 2 гл/м² ч, а пропускная способность — 150-200 гл/м².

4.2.3.3. Обслуживание пластинчатого фильтр-пресса. Фильтрующий слой в собранном фильтре стерилизуется паром с избыточным давлением 0,2-0,3 бар или горячей водой. При применении обеспложивающего фильтра для стерилизации рекомендуется использовать пар, причем необходимо учитывать образование конденсата. В начале фильтрования пива необходимо тщательно промыть фильтр во избежание образования в пиве посторонних привкусов вследствие попадания в пиво остатков на фильтрующих слоях. Фильтрование следует производить с исключением возможности гидравлических ударов, желательнее

с использованием буферного танка. Простои не допускаются. При обеспложивающем фильтровании разность давлений должна составлять не более 1,0-1,2 бар, иначе скорость потока пива в фильтре окажется слишком высокой и качество фильтрования окажется проблематичным. Несмотря на возможность регенерации фильтра с помощью промывки холодной и горячей водой в противотоке, указанная выше производительность фильтра постепенно снижается.

При одном и том же типе фильтрующего слоя степень осветления и производительность фильтра существенно зависят от качества предварительного фильтрования. Потери с головным и хвостовым фильтрационными остатками снижаются в случае последовательного включения и опорожнения предшествующего и последующего фильтров (кизельгурового фильтра и пластинчатого фильтр-пресса). Количество фильтрационных остатков можно существенно сократить благодаря предварительной подготовке фильтра (промывке и вытеснения воздуха при помощи СО₂); так же можно опорожнять фильтр после фильтрования. При этом, однако, в фильтре остается пиво, которое необходимо удалить в процессе промывки. Расход воды при промывке и очистке фильтра составляет 2,3 гл/м², а при стерилизации горячей (> 90 °С) водой — 1,4 гл/м². Расход пара достигает 15 кг/м². Пластинчатый фильтр-пресс довольно трудоемок в обслуживании.

4.2.4. Мембранное фильтрование

Для обеспложивающего фильтрования применяют также фильтрующие мелкопористые мембраны из целлюлозы (их

пористость составляет 80 % по сравнению с 20 % у традиционных фильтрующих систем). Эти круглые мембраны диаметром 293 мм (площадью 0,067 м²) характеризуются равномерной пористой структурой типа пчелиных сот, причем размер пор в зависимости от степени фильтрования составляет от 0,2 мкм до 5,0 мкм. В обеспложивающем фильтровании используют мембраны с размером пор 0,4 мкм ($\pm 0,05$), а для удаления дрожжей — с размером пор 1,2 мкм. Толщина мембран составляет 150 мкм. Мембраны располагают на картоне, повышающем механическую прочность и облегчающем обслуживание. Благодаря высокой пористости фильтра повышается его производительность, которая в зависимости от качества предварительного фильтрования составляет до 200 гл/м² ч, общая пропускная способность — 1300-2000 гл/м².

Фильтрующие мембраны располагают на несущей пластине с перфорированными краями; через эти отверстия пиво поступает в фильтр, проходит сквозь мембрану и отводится через центральную колонку.

Фильтрующие элементы помещены в цилиндрический корпус из высококачественной стали. Чтобы иметь возможность при выработке одного фильтра заменить его на другой, па производстве целесообразно иметь определенный запас таких мембранных свечей. Выработанные фильтрующие мембраны регенерации не подлежат. Выгрузка и загрузка мембран, а также стерилизация фильтра с производительностью 200 гл/ч требует около 2 ч.

Культурные дрожжи в таких фильтрах отфильтровываются полностью; мембранные фильтры с размером пор 1,2 мкм позволяют частично отфильтровывать и бактерии.

Для стерилизующей фильтрации применяют мембранные свечи из полипропилена или нейлона 66 (размер пор — менее 0,45 мкм). В этом случае на фильтре удерживаются лактобактерии и кокки (за исключением случаев гидравлических ударов). Удельная производительность таких мембранных свечей составляет 0,8-1 гл/м²·ч, а цикл фильтрования - 7-8 ч, после чего необходима промывка теплой и горячей водой с последующей стерилизацией. Общая пропускная способность свечи длиной 750 мм составляет 250-800 гл (в зависимости от пропускной способности цены на данный тип фильтра могут существенно различаться). При правильной эксплуатации мембранного цикла допускается до 50 регенераций (360 гл/м²), причем здесь также очень важно качество предварительного фильтрования.

Для обеспечения качественного фильтрования разработаны так называемые «комбинированные свечи», имеющие три слоя — с размером пор соответственно 1,2, 0,45 и 0,45 мкм. Такие свечи характеризуются лучшей фильтрующей способностью и более высокой общей пропускной способностью. Фильтрующий материал (нейлон 66) обеспечивает в течение первого часа фильтрования значительную адсорбцию полифенолов и тем самым повышает стабильность пива, однако это «первое» пиво имеет другой состав, чем последующие партии, и их необходимо смешивать.

Мембранные фильтры нового поколения менее чувствительны к гидравлическим ударам и могут располагаться непосредственно перед установкой розлива, то есть без буферного танка. При ширине пор 0,45 мкм такой мембранный фильтр не изменяет состав пива. С помощью ряда испытаний (*Bubble-Point-Test*, теста

на диффузию и на сопротивление давлению) фильтр проверяют на гомогенность и отсутствие повреждений мембранных свечей.

Керамические свечи представляют собой фильтр с 50 м^2 фильтрующей поверхности. У свечей длиной 50 см и диаметром 12 см размер пор составляет 10-30 мкм. Чтобы обеспечить необходимый размер пор для задержки на фильтре дрожжей и бактерий, необходима предварительная намывка кизельгура ($1,5 \text{ кг/м}^2$). Крупный кизельгур (а также смесь целлюлозы и кизельгура) намывают в качестве первого основного слоя, а мелкий кизельгур — как второй слой предварительной намывки. Производительность керамических свечей составляет $10 \text{ гл/м}^2 \cdot \text{ч}$, продолжительность намывки — около 20 ч, а расход кизельгура — менее 10 г/гл. Такие свечи можно эксплуатировать около 12 мес., то есть в течение 500 ч фильтрования.

4.2.5. Центрифуги

Результат центрифугирования зависит от ускорения естественной седиментации при помощи центрифуги. Качество отделения зависит от числа оборотов и диаметра центрифуги. Для осветления пива используют только герметически закрытые тарельчатые центрифуги.

4.2.5.1. Принцип действия центрифуги.

Пиво поступает в центрифугу снизу через полую среднюю ось, вращающуюся со скоростью от 6 до 7 тыс. об/мин. В центральном канале барабана пиво распределяется по отдельным тарелкам. Благодаря высокому числу оборотов частицы мути отбрасываются к стенке барабана и осаждаются. При этом полного осветления еще не достигается, поскольку

отброшенные частицы могут попасть в вытекающее через верх пиво. Пиво из верхней камеры получается наиболее светлым, так как здесь скорость пива наименьшая и меньший контакт с осадком. Осветленное пиво выходит из центрифуги сверху. Для выравнивания падения давления в центрифуге перед пей встраивают насос. При автономном центрифугировании грейфер заменяют встроенными насосами, снижающими давление на входе в центрифугу и повышающими его на выходе.

У герметичных центрифуг во избежание циркуляции в барабане, находящимся под давлением, входные и выходные отверстия герметизированы уплотнительными манжетами, благодаря чему в пиво не попадает воздух и не происходит потери CO_2 .

4.2.5.2. Центрифугирование. До 1960 г. центрифуги применялись для одноступенчатого осветления пива (такое полное осветление пива в центрифуге до сих пор используют на некоторых небольших пивоваренных предприятиях). В этих целях используются многокамерные или тарельчатые сепараторы производительностью до 40 гл/ч. При снижении степени осветления центрифугу останавливают, опорожняют, очищают и снова собирают. На эти манипуляции (без стерилизации) требуется около 60 мин, из-за чего параллельно эксплуатируют несколько центрифуг, позволяющих с учетом очистки получить требуемую степень осветления. В результате трения окружающего воздуха и внешней стороной барабана несколько повышается температура пива (при полном осветлении — на $1,5\text{-}2^\circ\text{C}$), что следует учитывать путем соответствующего охлаждения пива при помощи охладителя до точки замерзания (от -2 до $-2,5^\circ\text{C}$) еще до центрифугирования.

В результате в ходе хранения пива снижается пептизация нерастворимых охлажденных частиц мути. Осветляющий эффект таких центрифуг при одной и той же производительности не всегда одинаков и зависит от качества солода и обработки суслу, причем на эти факторы влиять довольно трудно. Важную роль для достижения необходимой коллоидной стойкости пива играет также продолжительность хранения охлажденного пива при температурах ниже $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для *значительного предварительного осветления пива* (удаления дрожжей и частиц мути на 99 %) используют герметичные саморазгружающиеся центрифуги. Их опорожнение (см. раздел 2.7.7.1) начинается при срабатывании датчика в грязевой камере, при этом герметичность сепаратора не нарушается. Неизбежно возникающие перепады давления необходимо предупреждать путем установки между центрифугой и фильтром буферного танка, вмещающего при небольшой часовой производительности 30 %, а при большой — 15 % осветленного пива. Кроме того, для поглощения гидравлических ударов буферные танки необходимы в начале и конце линии фильтрации. Упомянутое выше повышение температуры составляет благодаря высокой пропускной способности лишь $0,5\text{--}0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, причем в современных линиях предусмотрены приборы, регулирующие температуру пива.

Производительность центрифуг для тонкого осветления составляет до 500 гл/ч, расход энергии — $7\text{--}8\text{ кВт}/100\text{ гл}$; при этом практически не образуются головные и хвостовые фильтрационные остатки, а остатки пива в центрифуге при переходе с одного сорта на другой весьма незначительны. Мойку и дезинфекцию центрифуг можно производить системой

безразборной мойки (CIP) или в составе фильтрующей установки.

В последнее время большое значение приобретают центрифуги, заменяющие кизельгуровые фильтры и придающие новый импульс разработке технологий фильтрации (см. раздел 4.4).

4.3. Комбинированные способы осветления

Несмотря на то что фильтрация кизельгуром предназначено для осветления пива, без дополнительного фильтрации его используют лишь на небольших предприятиях. При разделении понятий «осветление», «стерильное фильтрация» и «стерилизация путем кратковременной высокотемпературной обработки» для качественного осветления вполне подходит кизельгуровый фильтр, и его комбинирование, например, с кратковременной высокотемпературной обработкой или различными системами мембранного фильтрации находит широкое применение.

Как уже отмечалось, использование центрифуг помогает «разгрузить» кизельгуровый фильтр, по при этом увеличивается продолжительность фильтрации. При осветлении пива с большим содержанием дрожжей (пива из суслу, сброженного пылевидными дрожжами, пива верхового брожения) центрифуги применяют наряду с кизельгуровым фильтром в ходе однократного «нормального» семичасового цикла фильтрации. Тем самым гарантируется бесперебойный выпуск продукта. Благодаря оптимизирующим мероприятиям продолжительность фильтрации иногда увеличивается до $14\text{--}16\text{ ч}$ с заметным снижением затрат на фильтрацию.

Классическим видом комбинированного использования фильтров является сочетание кизельгурового фильтра с крупным пластинчатым фильтр-прессом. В результате выбора фильтра пластинчатого типа степень очистки при контрольном фильтровании может доходить до обеспложивающей (при этом приходится компенсировать снижение удельной производительности путем увеличения габаритов). При высоких требованиях к стойкости пива зачастую применяют (чаще всего перед розливом) также обеспложивающее фильтрование или кратковременную высокотемпературную обработку.

При фильтровании пива с высоким содержанием дрожжей или трудно фильтруемого пива на некоторых предприятиях с успехом применяют так называемый тандемный фильтр (см. раздел 4.2.2.7). Увеличение затрат на обслуживание пластинчатого фильтр-пресса стало причиной перехода ряда предприятий к использованию второго кизельгурового фильтра (вместо пластинчатого фильтр-пресса), на котором с помощью тонкого кизельгура достигалось обеспложивающее фильтрование (см. раздел 5.4.1.1). Преимуществом такого комбинирования является возможность автоматизации всего процесса фильтрования, который даже с учетом повышенного (примерно на 50 %) расхода кизельгура становится более экономичным. Снизить расход кизельгура позволяет увеличение продолжительности фильтрования.

Стабилизация пива на горизонтальном фильтре (см. раздел 7.6.4.1) с возможностью регенерации ПВПП дает возможность широкого комбинирования фильтров. Стабилизирующий фильтр располагают между кизельгуровым и пластинчатым фильтрами, причем последний

используется многократно благодаря фильтру-ловушке, в котором задерживаются унесенные потоком мельчайшие частички ПВПП. Такой фильтр-ловушка состоит из хлопчатобумажных свечей (площадь каждой $0,14 \text{ м}^2$) с удельной производительностью $70 \text{ гл/м}^2\cdot\text{ч}$. Фильтрующий материал легко восстанавливается промывкой теплой и горячей водой (восстановление осуществляется через каждые 60-80 тыс. гл/м^2).

4.4. Способы замены кизельгурового фильтрования

Работа с кизельгуром связана с решением ряда проблем, а именно:

- запасы кизельгура на планете ограничены, хотя эта проблема еще не очень остра;
- кизельгур необходимо утилизировать, для чего применяют разные методы регенерации (см. раздел 4.2.2.1), переработку его в компост, смешивание с пивной дробинкой в целях использования на корм скоту (не везде возможное) и очень дорогую утилизацию шлама; возможно также его использование в производстве тротуарной плитки, кирпичей и других стройматериалов).

Снизить расход кизельгура позволяет применение уже упоминавшейся центрифуги для молодого пива или центрифуги для тонкой очистки, монтируемой перед кизельгуровым фильтром.

Сочетание центрифуги и масс-фильтра успешно применяется в малых пивоварнях, однако для широкого возобновления использования масс-фильтров они должны быть технически модифицированы, включая технологию их очистки,

стерилизацию и укладки фильтрующей массы в фильтр.

Может найти применение сочетание центрифуги для тонкой очистки и горизонтального фильтра (см. раздел 4.2.2.4, эта система еще находится в стадии развития), где в качестве фильтрующего материала используется не кизельгур, а регенерируемый материал типа измельченной целлюлозы. Фильтрующая масса для предварительной намывки (1 кг/м^2) наносится один раз под относительно высоким давлением и образует затем фильтрующие слои. После этого проводят текущее дозирование (200 г/гл), обеспечивая тем самым при удельной производительности $5 \text{ гл/м}^2\text{-ч}$ снижение мутности на $0,4\text{-}0,8$ ед. ЕВС.

В фильтрационной системе Мульти-Микро толщина фильтрующего слоя составляет 27 мм , причем по мере приближения к выпуску пива слои уплотняются, а размеры пор уменьшаются. Фильтрующие модули конической формы укладываются в конусообразный вертикальный фильтр, в который нефилтрованное пиво поступает снизу через центральный канал. В нем пиво попадает на оребренную пластину под фильтрующими слоями, проникает снизу вверх, собирается на оребренной верхней пластине и выпускается через специальные отверстия в канал для фильтрованного пива.

Производительность этой системы составляет $15 \text{ гл/м}^2\text{-ч}$. Система Мульти-Микро без регенерации может работать около одной недели (90 ч), ресурс фильтрующего слоя составляет 4000 гл/м^2 . Проблема сохранения фильтрующих свойств слоев и их уплотнения уже практически решена.

При тангенциально-поточной микро-фильтрации фильтруемое пиво не проходит через мембрану, а протекает вдоль

нее под давлением. При этом часть жидкости (пермеат) просачивается через мембрану и отфильтровывается, а другая часть жидкости (ретентат) обогащается веществами мути. Мембраны изготавливают из полипропилена, полиэфирсульфона или металлокерамики (например, α -оксида алюминия). Иногда мембраны выпускаются в виде фильтрующих свечей (при сворачивании мембран в рулон получают фильтрующие модули), и отдельные мембраны укладываются в каналы диаметром $3\text{-}6 \text{ мм}$. Длину фильтрующих элементов рассчитывают так, чтобы заполнение свечей нефилтрованным пивом происходило равномерно. Производительность такой мембраны определяется скоростью, с которой частицы ретентата наслаиваются на поверхность мембраны (оптимальная скорость потока составляет 5 м/с и выше, число Рейнольдса — более 3000). Благодаря такой скорости потока предотвращается образование «вторичной мембраны» из веществ мути. Давление на мембрану не должно превышать $1,5 \text{ бар}$, поскольку оно способствует образованию вторичной мембраны. Чтобы стойкость пива не менялась, температура фильтрования должна составлять $0 \text{ }^\circ\text{C}$, однако низкая температура пива снижает производительность фильтра из-за увеличения вязкости жидкости. Для восстановления фильтрующего слоя можно использовать противоток пермеата. Размер пор мембраны в зависимости от микробиологической стойкости пива не должна превышать $0,4\text{-}0,45 \text{ мкм}$.

Зачастую выход пива зависит от производительности фильтра, то есть от давления на мембрану, повышение которого приводит к нагреванию пива. Температуру пива вновь снижают до $0 \text{ }^\circ\text{C}$ путем его пропускания через тепло-

обменник, при этом его удельная производительность должна составляет не менее 80 л/м²·ч.

Модернизация данной системы в настоящее время проводится в трех направлениях:

- комбинирование тангенциально-поточного фильтрования с центрифугой тонкого фильтрования;
- внесение конструктивных изменений в модули для повышения их проницаемости для фильтруемого пива;
- промывка мембран в две стадии в течение 15 мин (после щелочной мойки проводится обратная промывка водой).

В результате за 6 ч скорость выхода пермеата может достигать в среднем 100 л/м² ч. При этом энергозатраты снижаются с 7 до 0,4 кВт ч/гл.

Тангенциально-поточное фильтрование внедрено уже на многих пивоваренных предприятиях и используется для фильтрования молодого пива (в данном случае используются мембраны с размером пор 0,2 мкм, см. раздел 6.2.5.2).

4.5. Вспомогательное оборудование и контрольно-измерительная аппаратура

Для беспрепятственного фильтрования необходимы такие устройства, как смеситель (для пива), регулятор давления, теплообменник (для быстрого охлаждения) и фонарь для удаления воздуха. При контроле степени фильтрования важнейшую роль играют обеспечение его эффективности и облегчение работы персонала.

4.5.1. Вспомогательное оборудование

4.5.1.1. Смеситель (для пива) устанавливают между танком для дображивания и регулятором давления. Он необходим для бесперебойного запуска и окончания процесса фильтрования, для беспрепятственного перехода от одного танка к другому или с одного сорта пива на другой, а также для смешивания пива из различных танков.

На стационарных или подвижных панелях со смесителями (калачами) устанавливают от 2 до 10 смотровых фонарей для наблюдения за потоком пива. При помощи крана регулируется приток в коллектор и смешивание (на современных установках весь процесс осуществляется автоматически). При опорожнении танка выпускной клапан закрывается, так что попадание воздуха в поток пива исключается.

В автоматических смесителях используются запорные поплавки, реагирующие на удельную массу пива. Возникающий импульс подсоединяет к цепи ближайший танк. Последовательность подключения танков может быть запрограммирована.

4.5.1.2. Регулятор давления. Насосы через смеситель перекачивают пиво в танк для дображивания, как правило, под давлением 0,7-0,9 бар. Пиво подводится к фильтру, фильтруется и отводится под давлением в сборник фильтрованного пива или на установку розлива. Насосы регулируются по объемному расходу и давлению — например, при повышении давления напор может снижаться. Чтобы создать в нужной зоне низкое давление, исключая тем самым необходимость слишком длинных трубопроводов,

приводящих к потерям давления и CO_2 , регуляторы давления монтируют вблизи танка для дображивания. Распространенные ранее поршневые насосы в настоящее время заменены на одно- или многоступенчатые центробежные насосы с регулируемой производительностью или давлением, исключая гидравлические удары. По возможности следует исключить снижение производительности насоса в области выпускного патрубка, так как иначе возрастает давление внутри насоса и может возникнуть напряжение сдвига. Оптимальным считается управление двигателем насоса при помощи редуктора. Производительность насоса следует рассчитать с запасом относительно сопротивления на фильтре (до 3 бар и более), противодействия в танке для отфильтрованного пива или в установке розлива (около 1,5 бар), а также компенсировала сопротивление в трубопроводе без снижения расхода.

4.5.1.3. Теплообменник для быстрого глубокого охлаждения устанавливают между регулятором давления и фильтром. Он предназначен для охлаждения фильтра до температуры пива в начале фильтрования, поддержания температуры пива в $-1\text{ }^\circ\text{C}$ в ходе фильтрования или для охлаждения пива, недостаточно охлажденного в отделении дображивания, что позволяет улучшить физико-химические свойства пива. Применяются пластинчатые или трубчатые теплообменники, в которых пиво охлаждается хладоносителем (гликолем). Существуют также

трубчато-цилиндрические теплообменники, работающие на непосредственном испарении хладагента. Теплообменник монтируют перед буферным танком (при его наличии).

4.5.1.4. Трубопровод для пива (пивопрод) во избежание повышения сопротивления в трубопроводе должен обладать точно рассчитанной шириной в свету. Скорость потока пива не должна превышать 1 м/с, и поперечное сечение трубы подбирают с учетом заданной производительности. Важно чтобы диаметр трубопровода по всей длине был одинаков, у него была гладкая поверхность, а герметичность исключала потерю CO_2 и попадание воздуха.

4.5.1.5. Фонари для выпуска воздуха, служат для удаления воздуха или CO_2 из пива. Их следует располагать перед фильтром или в самой высокой точке трубопровода.

4.5.2. Контрольно-измерительная аппаратура

4.5.2.1. Термограф (самописец температуры) контролирует температуру, продолжительность фильтрования и, при необходимости, температуру пива.

4.5.2.2. Регистрирующий манометр записывает давление на входе и выходе из фильтра, регистрирует гидравлические удары и колебания давления. С его

Таблица 4.1. Поперечное сечение трубопровода в зависимости от производительности

Производительность по пиву, гл/ч при 1 м/с	45	70	102	140	180	230	280
Поперечное сечение трубопровода (ширина в свету), мм	40	50	60	70	80	90	100

помощью выявляют необходимость устранения той или иной проблемы в ходе фильтрации.

4.5.2.3. С помощью *мутномера* или *турбидиметра* оценивают мутность пива. Измерение мутности (на основе эффекта Тиндаля) осуществляется путем измерения интенсивности рассеяния света, преломляемого под определенным углом. Определение мутности существенно зависит от размера, формы и цвета частиц мути, а также от коэффициента преломления жидкости, длины волны используемого для измерения света и геометрии измерительного устройства.

Для измерения степени рассеяния света, обусловленной мутностью пива, при незначительном и среднем помутнении используют метод измерения рассеяния света, а при средних и высоких показателях мутности — измерение светопоглощения. По первому методу измеряют рассеяние света во все стороны под углом 90° (боковое рассеяние) или $12-35^\circ$ (прямое рассеяние). Чем крупнее частицы мути или короче длина волны, тем сильнее рассеяние света, особенно прямое. Для регистрации коллоидных частиц мути (размером менее 1 мкм) при текущем контроле применяют угломер в 90° . Измерение прямого рассеяния используют при наличии крупных частиц мути (размером более 1 мкм) — в частности, при контроле степени осветления пива, при перекачке сусла из вирпула на дозирование дрожжей, а также для определения оставшихся дрожжевых клеток или иных частиц мути при фильтрации. Мутность выражается в единицах ЕВС. На кизельгуровом фильтре при измерении рассеяния под углом 90° она не должна превышать 1 ед. ЕВС, а на пластичатом фильтр-прессе — около 0,33 ед.

ЕВС). При измерении под углом 12° мутность не должна превышать 0,12-0,15 ед. ЕВС.

4.5.2.4. *Рефрактометр, плотномер и измеритель плотности первого сусла.* Показания рефрактометра и плотности могут пересчитываться на массовую долю СВ начального сусла (в процентах), что имеет большое значение для расчетов выхода пива, головного и хвостового фильтрационных остатков. Изменения плотности головного и хвостового остатков с высокой точностью регистрируются измерителем электропроводности. Определение массовой доли СВ начального сусла довольно точно осуществляется при разбавлении пива с высоким содержанием начального сусла (см. раздел 9.2); при корректировке экстрактивности начального сусла головным и хвостовым фильтрационными остатками (см. раздел 6.1.2.3) оно применяется ограничено из-за разбухания частиц мути.

4.5.2.5. *Содержание CO_2 в пиве* определяется уже в отделении дображивания (см. раздел 3.5.3.3), однако может оказаться целесообразным автоматический контроль и регистрация этого важного показателя при фильтрации. После фильтрации необходимо задать требуемое содержание CO_2 , снижение которого, например, для бочкового пива при преобладающих низких температурах затруднено. Для бочкового пива рекомендуется применять шпунтование (содержание CO_2 приблизительно 0,44 %) в цехе дображивания и карбонизацию (свыше 0,50 %) до показателя, заданного для бутылочного пива, с помощью полученного на предприятии CO_2 . Для этого используют мелкопористые металлические

свечи, трубки Вентури или статический миксер. Высокотехнологичные, полностью автоматизированные карбонизирующие аппараты могут повысить содержание CO_0 в пиве на 0,3 %. Карбонизаторы также применяют для поддержания постоянного содержания CO_2 на определенном уровне. Карбонизатор располагают как между фильтром и сборником фильтрованного пива (или буферным танком), так и после них.

4.5.2.6. Газоанализатор на кислород, лучше всего самопишущий, располагают на выходе из пластинчатого фильтр-пресса, а также перед установкой розлива. Определение содержания растворенного кислорода возможно как в байпасном (10 л/ч), так и в главном трубопроводе. Для избирательного производственного контроля на линии розлива, а также в ходе других технологических стадий можно использовать портативный газоанализатор.

4.5.2.7. Поршневой насос-дозатор или индукционный расходомер дают показания об объеме отфильтрованного пива отдельных сортов и (частично) о потерях при фильтровании (см. раздел 6.1.2.3). Кроме того, существует возможность учета расхода пива, головного и хвостового фильтрационных остатков, что позволяет вносить соответствующие корректировки (см. раздел 4.2.2.5).

4.6. Начало и окончание фильтрования

Перед началом фильтрования трубопроводы и КИПиА соответствующим образом стерилизуют, а затем фильтр заполняют чистой с микробиологической

точки зрения деаэрированной охлажденной водой (0-1 °С). При использовании кизельгурового фильтра проводят предварительную намывку. Затем в танке для дображивания создается необходимое избыточное давление для транспортировки пива к смесителю, составляющее для лагерных танков не более 0,99 бар (при использовании Асахи-танка и унитанка избыточное давление не создается). При спуске некоторого количества жидкости пространство танка заполняется газом (желательно CO_2). Для создания давления воздуха или CO_2 применяют редукционные клапаны, монтируемые перед отдельными зонами отделений дображивания.

Сжатый воздух должен быть микробиологически чистым, без запаха и жировых фракций, холодным и сухим. Очистка воздуха производится на центральной установке. Как правило, к каждой станции очистки воздуха подключают дополнительный небольшой воздушный фильтр, улавливающий CO_2 . После закрытия всех кранов пивопровода открывают бочку или танк. Через открытые краны для выпуска пива и удаления воздуха пиво поступает в смеситель, вытесняя в него воду, CO_2 и воздух, и заполняет фонтан смесителя (кран для отвода воздуха из смесителя остается открытым). Через выпускной кран пиво затем поступает в регулятор давления, после которого под требуемым давлением оно поступает на кизельгуровый фильтр с уже произведенной предварительной намывкой. Затем пиво поступает к коническому входу фильтра и заполняет его (пена при этом отводится), вытесняя находящуюся в фильтре воду. Благодаря дросселированию в выпускном кране фильтра создается противодействие, соответствующее давлению установки розлива

или накопительного танка. Головной фильтрационный остаток (см. раздел 4.2.2.5) отводится, и пиво под давлением направляется в танк для отфильтрованного пива или в цех розлива. Очень важным является полное удаление воздуха из системы трубопроводов и фильтра.

По мере опорожнения фильтра происходит соединение фонаря, где находится удаляемая смесь воды и воздуха, с водопроводом, причем необходимо соблюдать одинаковое давление с ранее подключенным танком для дображивания. Остановка фильтра в ходе фильтрации всегда связана с риском гидравлического удара при повторном его запуске, причем при использовании кизельгурового фильтра возможно повреждение фильтрующих слоев. Фильтр в любом случае должен оставаться под давлением и при повторном возобновлении фильтрации следует внимательно следить за качеством фильтрата. При необходимости поток пива до выхода фильтрата требуемого качества переключают на танк с головным остатком или на режим рециркуляции.

4.7. Дрожжевой осадок

После опорожнения горизонтального лаггерного танка, Асахи- или унитанка в них остается дрожжевой осадок (отстой) — те дрожжи, которые остались в пиве еще с бродильного цеха и использовались для дображивания. Он представляет собой остаток дрожжей, оставшихся после перекачки готового пива, включая дрожжи завитков. Наряду с дрожжами в нем присутствуют также хмелевые смолы и белковые вещества.

При обычном дображивании количество дрожжевого осадка составляет

0,3-0,4 л/гл пива, а при брожении в крупных танках оно несколько меньше благодаря периодическому удалению дрожжей. При использовании горизонтальных лаггерных танков пиво над дрожжевым осадком после снятия давления откачивают, смешивают с остаточным некондиционным пивом, при необходимости вводят активированный уголь (20-50 г/гл) и осветляют раз в неделю на забитом к концу цикла фильтрации кизельгуровом фильтре или фильтре для остаточного пива. Иногда такое пиво смешивают с пивом в стадии низких завитков с повторным его кратковременным хранением, либо (в малых количествах) с другим пивом. При этом необходимо проверять, не влияет ли молодое пиво на снижение скорости фильтрации в результате осаждения β -глюкана пива или полисахаридов дрожжей, из-за чего может снизиться фильтруемость всей партии. Следует обращать внимание на степень отпрессовывания дрожжевого осадка, проверяя, не ухудшился ли вкус пива (см. также раздел 6.2.5).

4.8. Сжатый воздух

Сжатый воздух применяется на различных этапах пивоварения (при азиривании суслу, внесении семенных дрожжей, транспортировке пива, предварительной продувки бочек и бутылок) и должен удовлетворять определенным требованиям и при контакте с суслем или пивом быть свободным от жировых фракций. Этим требованиям соответствуют пневмокомпрессоры и вакуумные насосы, а при использовании масляных насосов необходимо проводить обезжиривание воздуха с помощью фильтра из активированного угля или сборника с известковым

молоком. При охлаждении сжатого воздуха вследствие его естественной влажности в больших количествах образуется конденсат. Необходимая сушка воздуха осуществляется преимущественно в холодильной сушилке (охлаждение с последующим кондиционированием), а в особых случаях — в адсорбционной сушилке.

Стерилизацию сжатого воздуха проще всего осуществить с помощью целлюлозно-угольного фильтра (при этом также удаляются следы масла), но производительность

этого фильтра невелика. Для повышения производительности применяют фильтрующие свечи из керамики или микропористого стекловолокна на основе силиката бора. Иногда непосредственно перед потребителем (танком или установкой розлива) монтируют дополнительный фильтр. При стерильном розливе используют также обеспложивающие пластинчатые фильтры (см. раздел 4.2.3). Система трубопроводов должна просматриваться, легко промываться и дезинфицироваться.

5. Розлив пива

После фильтрования пиво поступает на розлив — в бочки, кеги, бутылки или банки, либо его перекачивают в специальные танки для хранения.

5. 1.Хранение фильтрованного пива

Хранение осуществляется в специальных танках, рассчитанных на избыточное давление 2-4 бар. Наряду с ними используют также обычные танки, из которых пиво насосом подается потребителю. Такого рода разделение имеет те преимущества, что не возникает проблем с различным выходом продукции при фильтровании и розливе, фильтрование проходит «спокойнее», без гидравлических ударов. Кроме того, появляется возможность дополнительного определения показателей качества пива с помощью методов теххимконтроля и микробиологического анализа. Габариты накопительного танка

рассчитывают так, чтобы в него входил запас пива на 2-4 ч розлива с учетом необходимости розлива разных сортов пива. Производительность отделения хранения пива должна быть не менее полуторной производительности цеха розлива. Проблемы с попаданием в пиво кислорода при перекачивании в танк или при его опорожнении, а также возможность экономии на дорогостоящих мойке и дезинфекции зачастую вынуждают отказаться (по крайней мере, для основных сортов пива) от промежуточного хранения пива в танках под давлением. Такое решение позволяет обеспечить непрерывный контроль качества пива по содержанию экстрактивных веществ начального сула, CO_2 , значению pH, цвету, мутности, а также применение ускоренных способов микробиологического контроля с высокой степенью надежности. Танки для фильтрованного пива должны представлять собой своего рода буферные емкости и могут состоять из нескольких соединенных между собой танков.

5.2. Розлив в бочки и кеги

5.2.1. Бочки и кеги

Бочки изготавливают из древесины, алюминия или высококачественной стали. Синтетические материалы не используются. Объем бочек бывает от 10 до 250 л, но в основном выпускаются 30, 50, 70 и 100-литровые. До недавнего времени металлические бочки делали той же формы, что и деревянные, однако в последнее время с появлением кегов (небольших цилиндрических бочонков) появились новые аспекты в их производстве. У каждой бочки предусмотрено шпунтовое отверстие, служащее для наполнения и мойки бочки, а также для ее опорожнения с помощью CO_2 под давлением. Бочку закрывают наливной пробкой из алюминия или синтетического материала с винтовой резьбой. Герметизация осуществляется при помощи тканевого уплотнения (у наливной пробки), синтетических материалов или собственно пробкой. В бочках предусмотрены еще два отверстия, служащие для спуска пива из бочки в стоячем положении (так называемый «баварский слив») и обычного слива. На каждой бочке должна быть маркировка с подробной информацией о содержимом, номером бочки и названием пивоваренного предприятия.

5.2.1.1. Дубовые бочки изнутри покрывают смолкой или искусственным материалом. Покрытие из смолки заменяется через каждые 3-5 непродолжительных перевозок, а при длительной транспортировке и поставке на экспорт — после каждого опорожнения. При этом бочку промывают горячей водой (температурой не более 45 °C) и вновь проводят осмолку. Бочки, покрытые изнутри синтетическим

материалом, прочнее осмоленных. В настоящее время деревянные бочки применяют в основном для праздничных мероприятий, розлива на народных гуляниях и т. д. Подробнее о производстве деревянных бочек см. специальную литературу.

5.2.1.2. На немецком рынке около 30 лет доминируют алюминиевые бочки, изготовленные из сплава AlMgMnSi . Форма алюминиевых бочек та же, что и у деревянных, с ребрами жесткости в местах, подвергаемых наибольшей нагрузке, так что они очень прочны и легче, чем деревянные (50-литровая деревянная бочка весит 34 кг, а алюминиевая — лишь 9-10 кг). Алюминиевые бочки не требуют осмолки и могут обрабатываться в бочкоочной машине при высокой температуре (тем самым стерилизовать их легче, чем деревянные).

В результате снижаются не только производственные затраты, но и практически отсутствуют затраты на ремонт, а также исключаются потери пива из-за негерметичности деревянных бочек. Деревянная бочка медленней приобретает температуру окружающей среды (за 24 ч), то есть у неё лучшие теплоизоляционные свойства, чем у алюминиевой бочки, которая приобретает температуру окружающей среды примерно за 7 ч. Щелочная мойка алюминиевых бочек может привести к их коррозии, но еще больше его разъедают кислоты, образующиеся из остатков пива, в связи с чем контактные поверхности алюминия пассивируют или покрывают синтетическим материалом (как правило, лаковым покрытием), но это покрытие при определенных обстоятельствах может повреждаться, а нанесение нового покрытия на внутреннюю поверхность алюминиевой бочки хотя

и возможно, но обходится довольно дорого (около 25 % стоимости новой бочки). Иногда для увеличения надёжности применяют осмолку алюминиевых бочек, особенно при повышенных нагрузках на бочки (например, при транспортировке на дальние расстояния, в частности, через Атлантику).

Особое внимание следует обращать на сварные швы, которые первыми подвергаются коррозии в результате воздействия кислотных остатков пива.

5.2.1.3. Бочки из нержавеющей стали той же формы, что и деревянные, выпускаются в основном в США. Благодаря ребрам жесткости в верхней части бочки и на участке с наливной пробкой такие бочки оказываются достаточно надёжными. Стоят они примерно на 70 % дороже, чем алюминиевые. Производятся также бочки из высококачественной стали с облицовкой из полиуретана, имеющие форму деревянной бочки.

5.2.1.4. Небольшие цилиндрические бочки (кеги) изготавливаются из нержавеющей стали и получили распространение прежде всего в Европе (см. раздел 5.2.5).

5.2.2. Мойка бочек

Мойка бочек осуществляется как снаружи, так и внутри. В настоящее время она практически полностью автоматизирована.

5.2.2.1. В малогабаритных установках для внешней и внутренней мойки используются отдельные системы. Внешняя мойка бочек проводится в щеточной бочкомоечной машине, где бочка вращается специальными роликами и очищается

прижимаемыми к ней щетками с одновременным ополаскиванием теплой водой. При этом происходит частое наполнение бочки моечным раствором, благодаря чему осуществляется предварительная внутренняя промывка. Внутренняя мойка (шприцевание) осуществляется специальной головкой разбрызгивающей установки. В данном случае мойка бочки (то есть впрыск в нее теплой или холодной воды) с помощью распылительной форсунки осуществляется снизу через шпунтовое отверстие (бочку при этом вращают вручную). С помощью такой разбрызгивающей головки можно осуществить мойку до 100 бочек в час с продолжительностью мойки каждой 15-30 с.

5.2.2.2. *Полностью автоматизированные бочкомоечные машины* представляют собой установку со щетками и распылительными форсунками. Установка и центрирование бочек осуществляется автоматически. Вибротранспортер доставляет бочки ко всем моечным станциям, которые в случае деревянных бочек представляют собой станцию предварительного ополаскивания с одновременной щеточной чисткой и станции шприцевания теплой и холодной водой. Шприцевание с помощью вращающейся форсунки начинается посредством нажатия на рычаг при опускании бочки. В случае алюминиевых бочек необходимо дополнительное щелочное шприцевание (1-3 %-ным щелочным раствором температурой 30-85 °С в зависимости от качества внутреннего покрытия бочки и используемого моющего средства). Затем проводят несколько шприцеваний горячей водой при 90 °С (возможна также обработка паром на следующей станции). Производительность бочкомоечной машины зависит от размера бочек

и количества распылительных форсунок. Эффективность щелочной мойки может быть повышена благодаря внесению ПАВ. После мойки щелочной моечный раствор собирают, повторно нагревают и вновь используют, то есть осуществляют его рециркуляцию. Следует отметить, что в микробиологическом отношении эффективность щелочной мойки не всегда достаточна. На крупных бочкомоечных машинах обрабатывают 200-300 бочек в час. Продолжительность внутреннего шприцевания одной форсункой составляет около 15 с, в час расходуется 4-5 м³ горячей и 2-2,5 м³ холодной воды, а энергопотребление составляет 0,9-1,1 кВт. Давление шприцевания составляет от 2 до 4 бар.

При мойке и дезинфекции бочек нередко используют вторую бочкомоечную машину. В зависимости от размеров форсунок разбрызгивающей установки первая машина используется для предварительного ополаскивания или процесс мойки распределяется между двумя установками (щелочная мойка продолжается во второй машине). Транспортировка бочек от одной машины к другой используется для обеспечения определенной продолжительности контакта моющего средства с загрязнениями. При последующем шприцевании иногда используют надуксусную кислоту.

После мойки бочки инспектируют. С помощью лампы на стержне тщательно контролируют внутренние поверхности бочки, в деревянных бочках — слой смолки, а в алюминиевых бочках — внутреннее покрытие. При этом из бочки могут удаляться крошки пробки.

При использовании полуавтоматических бочкомоечных машин бочки вручную устанавливают на центрирующее устройство, а затем процесс осуществляется аналогично полностью автоматизиро-

ванным установкам. В новых модификациях таких машин, где все стадии мойки проводятся с помощью одной форсунки, через которую к бочке последовательно подводится вода для предварительного ополаскивания, щелочной раствор и горячая вода, можно обрабатывать до 40 бочек в час.

Дополнительная стерилизация чистых бочек может проводиться путем продувки SO₂ (при этом, как правило, достаточно 30-минутного воздействия газа). Вытесняемый при розливе воздух, содержащий SO₂, необходимо отводить.

Бочкомоечные машины выпускаются так же, как установки рециркуляции.

5.2.3. Розлив в бочки

Чтобы избежать потерь CO₂, розлив должен осуществляться при противодавлении. Установки розлива, работающие по такому принципу, называются изобарометрическими. Машина для розлива в бочки состоит из резервуара с пивом (из луженой меди или высококачественной стали) и наполнительных устройств (резервуар с пивом необходим при непосредственном розливе от фильтра без промежуточного танка). Розлив пива из сборного резервуара осуществляется отдельными наливными устройствами, которые работают автоматически и приводятся в действие сжатым воздухом. Современные машины для розлива в бочки выпускаются без напорного резервуара, то есть в их состав входит лишь пивопровод, ведущий к наполнительным устройствам, а также трубопроводы для сжатого и отработанного воздуха (последний удаляется через мембранный вентиль при определенном противодавлении).

При опускании наливного устройства в бочку подается сжатый воздух (из

пивного резервуара или из специального трубопровода). В бочке создается давление, равное давлению пива, и после переключений наливного клапана в результате возникающего градиента давлений пиво медленно перетекает в бочку через длинную трубку с вентилем (вентиль находится ниже бочки). Пиво наполняет бочку до шпунтового отверстия и вытесняет находящийся в ней воздух, который отводится обратно в пивной резервуар (при этом возникает риск инфицирования) или выпускается через специальный воздуховод. В устаревших конструкциях на этом этапе следует производить сбор разбрызгиваемого пива, то есть смесь из пива и пены, образующейся при заполнении бочки. На современных установках розлива в бочки такого разбрызгиваемого пива не образуется (благодаря шаровому поплавку предотвращается превышение уровня пива в отводящем воздуховоде). При розливе без пивного резервуара давление пива через мембранный вентиль влияет на давление воздуха (закачанного перед розливом и вытесненного пивом) — при таком режиме работы обеспечивается стерильность розлива. Стерилизуют установку розлива горячей водой или паром с применением дезинфицирующих средств и ПАВ.

У некоторых конструкций предусмотрена возможность продувки бочки SO_2 через наливное устройство — сначала продувается SO_2 , а затем начинается розлив пива. Производительность такой установки невысока и в расчете на одно наливное устройство составляет 10-12 гл/ч. Производительность обычной установки розлива на одно наливное устройство составляет (в зависимости от емкости бочек) 20-30 гл/ч. При розливе в небольшие бочки (2-3 наливных устройства) и использовании до 4-х наливных уст-

ройств у больших бочек необходим один оператор.

В случае автоматического наливного устройства необходимо лишь вставить его в бочку и перевести рычаг в нужное положение, создавая тем самым необходимое давление, после чего осуществляется розлив пива. При этом пиво поступает сначала медленно, а затем со все возрастающей скоростью. Количество избыточного пива незначительно (менее 0,1 %), снижается нежелательное попадание кислорода, а производительность наливного устройства такого типа при использовании 50-литровых бочек составляет до 35 гл/ч.

Установки розлива в бочки без пивного резервуара исключают не только опасность инфицирования пива из-за его разбрызгивания, но и защищают его от воздействия кислорода. Для бочкового пива рекомендуется розлив под противодавлением CO_2 , когда объем воздуха в бочке меньше, чем в бутылке (см. раздел 5.3.6.5).

Пастеризация бочкового пива проводится отдельно. Бочки должны быть закупорены специальной наливной пробкой с резьбой и резиновой прокладкой, а над жидкостью должно быть больше пространства. С другой стороны, при транспортировке бочки этот воздушный зазор может привести к снижению физико-химической стабильности пива. Следует учитывать, что до достижения бочкой температуры пастеризации требуется довольно продолжительное время.

5.2.4. Инновации в традиционном розливе пива в бочки

Недостатком у старых бочек было уплотнение наливных пробок промасленной тканью, и в последнее время чаще

используют притирающиеся наливные пробки из полимерных материалов с резьбой. Кроме того, наливные пробки из полимерных материалов более удобны, так как они закупоривают бочку наподобие мембраны и могут просто проталкиваться. Тем самым бочка остается открытой до момента возвращения ее на предприятие, и в нее могут проникнуть насекомые. Используют также «магнитные» пробки, которые укупоривают бочку так же хорошо, как и высокие грибовидные пробки (благодаря креплению к бочке они остаются на ней при выпуске пива), в которых использован принцип цапфы (как у кегов, см. ниже). Мойку винтовых пробок рекомендуется проводить в специальной машине, где они стерилизуются горячей водой и затем (уже с уплотнителем) обрабатываются SO_2 в специальной камере.

В последнее время широко используются ударные приспособления, автоматические удалители пробок, а также устройства маркировки, датировки и этикетирования бочек.

5.2.5. Розлив в кеги

5.2.5.1. Кеги. Цилиндрический корпус кега имеет четыре ребра жесткости, предохраняющие повреждения днищ. Масса 50-литрового кега из высококачественной стали составляет 13 кг, алюминиевого — 8,5 кг (существуют также кеги иной вместимости). Кег имеет отверстие лишь в верхнем днище, в которое ввинчивается арматура, состоящая из корпуса фитинга с наружной резьбой и встроенной вертикальной трубки, с помощью которой осуществляется очистка, наполнение и закрывание кега. Фитинги бывают двух вариантов: плоские и полые (корзиночные) фитинги. Плоский фитинг

имеет плоскую верхнюю поверхность с двухфункциональным клапаном, тогда как корзиночный фитинг — два отделенных друг от друга рабочих клапана. Указанные виды фитингов отличаются друг от друга направлением потоков. Преимущество фитинга состоит в том, что кег в опорожненном состоянии закрыт и находится под давлением CO_2 , благодаря чему предотвращается высыхание остатков пива, попадание внутрь насекомых и повышается чистота внутреннего пространства кега.

Широко распространены кеги с внешним покрытием. Наружную облицовку корпуса из высококачественной стали, не только защищающую кег от ударов, но и способствующую улучшению теплоизоляционных свойств, выполняют из вспененного полиуретана, что позволяет снизить уровень шума при обработке кегов.

Пустые кеги при приемке должны тщательно проверяться с немедленной выбраковкой помятых или иным образом поврежденных кегов.

5.2.5.2. Мойка и наполнение кегов. Снаружи кеги моют щетками в специальной моечной машине и ополаскивают. Внутреннее шприцевание проводят с помощью специальной моющей головки в установке розлива. После испытания давлением в ходе промывки холодной водой удаляются остатки пива, а шприцевание щелочным раствором и горячей водой проводят снизу. Кеги, в которых не создается избыточное давление, бракуются и подвергаются интенсивной очистке, в результате которой выявляют причины потерь давления и устраняют механические повреждения. После промежуточного ополаскивания кеги стерилизуют паром с помощью наливной головки,

проводят продувку CO_2 , вакуумирование, наконец, розлив пива. Продолжительность мойки и розлива кега составляет 90 с (производительность — 40 кегов/ч). На один 50-литровый кег требуется 14 л горячей и 7 л холодной воды, 0,4 кг пара и 0,22 кг CO_2 (в зависимости от предприятия указанные величины могут варьировать).

Несмотря на относительно несложный процесс мойки возвратных кегов, применяют мощные моющие установки. Внешняя мойка и очистка кегов может проводиться отдельно от других этапов мойки. На этой стадии кеги подвергаются многократной обработке струями холодной или горячей воды из разных форсунок, и в зависимости от степени загрязнения давление в форсунках составляет от 5 до 20 бар. На второй стадии внешней мойки вращающийся кег очищают при помощи сменных щеток. Наиболее интенсивная очистка происходит в зоне нанесения этикетки с помощью специальной форсунки под давлением до 80 бар. Расход воды при этом сравнительно невелик, поскольку используется отработанная вода после внутренней мойки кегов и последняя вода для ополаскивания предварительной мойки.

В ходе мойки кег вращается, причем весь процесс мойки осуществляется снизу через вставленную в кег вертикальную трубку, а слив воды и моющих средств — через вентиль для CO_2 .

Установка для главной мойки (после проведения внешней мойки) и розлива разделена на станции:

- станция 1 (мойка): проверка остаточного давления, удаление остатков жидкости и CO_2 , предварительное ополаскивание теплой водой, удаление остатков воды стерильным воздухом, мойка

стенок через вертикальную трубку горячим щелочным раствором, заполнение щелочным раствором и создание давления газа;

- станция 2 (мойка): обеспечение контакта загрязненных поверхностей со щелочным моющим раствором, замачивание стенок и зон с загрязнениями;
- станция 3 (мойка): удаление остатков щелочного раствора продувкой стерильного воздуха, промежуточное ополаскивание водой, удаление остатков воды продувкой стерильного воздуха, кислотная промывка при температуре 60°C , удаление остатков раствора кислоты продувкой стерильного воздуха;
- станция 4 (мойка): промывка горячей водой, удаление остатков воды паром, создание давления пара, контроль давления;
- станция 5 (стерилизация): обработка горячим паром;
- станция 6 (стерилизация): проверка на давление (путем сравнения с давлением на 4-й станции), интенсивная обработка острым паром, вакуумирование, удаление остатков пара продувкой CO_2 , частичное создание противодавления CO_2 ;
- станция 7 (розлив): создание необходимого противодавления CO_2 , наполнение пивом (с более низкой скоростью в начале и в конце налива и ускоренное между ними).

Качество мойки проверяется селективным зондом, и при каких-либо отклонениях наполнение кега полностью предотвращается. Мойку кегов можно интенсифицировать путем шприцевания сверху и снизу с интервалами, ультразвуковой обработкой, продувкой воздуха при щелочной мойке, а также выбором разных моющих средств. Эффективна кислотная мойка при $60\text{--}70^\circ\text{C}$. При мойке

кег не наполняется моющим раствором — мойка осуществляется проточным способом. При затрудненной мойке кегов из-под пшеничного пива направление моющих струй постоянно меняется.

Наливная головка оснащена многоходовым клапаном для пива. Как уже отмечалось расход пива в начальной, основной и конечной фазах налива меняется. Создаваемое противодействие зависит от давления пива. Станция розлива может быть оснащена градуированным наливным устройством для объемного дозирования, которое вместе с клапаном возврата газа включается в систему автоматического регулирования.

Розлив проводят при температурах до 16°C; количество разбрызгиваемого пива при этом составляет 40–60 мл/кег.

Обработка кегов на станциях мойки и розлива происходит либо прямолинейно, либо в карусели, причем поставляется оба типа оборудования.

Кег наполняют, как правило, до краев, причем достижение необходимого уровня регистрируется контактным, электрическим или пневматическим датчиками. Для проверки правильности наполнения кегов используют автоматические весы, отбраковывающие неверно заполненный кег.

Допускается также розлив по объему, регулируемый объемным расходомером — после достижения требуемого объема срабатывает контактный датчик, прекращающий процесс розлива. Магнитно-индукционные расходомеры (*IDM*) должны калиброваться каждые 2 года. Данная система более экономична.

На одной линии розлива за 1 ч можно наполнить примерно 60 кегов вместимостью от 25 до 75 л, что соответствует производительности 30 гл/ч. Использование нескольких таких линий, загружаемых

кегами из машины для предварительной мойки, позволяет достичь привычной производительностям крупных установок розлива (150 гл/ч).

5.2.5.3. Преимущества кегов. Так как кеги возвращаются от потребителей под давлением CO_2 , они внутри влажные и легко моются. Некоторые технологии мойки и дезинфекции позволяют проводить действительно стерильный розлив, особенно если установка розлива работает без сбоев. Опасность инфицирования заключается лишь в возможной нестерильности фитинга. Розлив проводится в обработанный паром кег при противодействии CO_2 (при этом поглощение кислорода составляет до 0,02 мг/л) или при вакуумировании (в зависимости от разности давлений поглощение кислорода составляет 0,20–0,40 мг/л).

В настоящее время установки розлива в кеги высокоавтоматизированы, причем встречаются комплексные системы с автоматами по паллетизации и вилочными автопогрузчиками. При этом возникает проблема разнообразия типоразмеров кегов, в связи с чем в ФРГ и других странах постоянно ведется работа по унификации кегов и арматуры.

5.2.5.4. Недостатки кегов. К недостаткам кегов относят высокие производственные затраты, так как себестоимость кегов, установок мойки и розлива, а также автоматических паллетизаторов, транспортеров и устройство контроля довольно велика. Кроме того, требуются конструктивные изменения в установках по розливу пива из кегов в местах реализации. Из-за дефектных прокладок фитингов во время розлива может наблюдаться потеря CO_2 , вследствие чего при реализации пива в розлив могут возникать проблемы.

5.2.5.5. Несмотря на полную автоматизацию производства очень важен *контроль розлива в кеги* — регистрируется температура, давление и продолжительность отдельных стадий мойки, концентрация моющих средств и т. п. Следует также проводить теххимический и микробиологический анализ поступающего на розлив пива, необходимо регистрировать содержание в нем кислорода и проверять содержание кислорода в кегах.

Нарушения газовой среды (на основе CO_2) возникают лишь в том случае, если при обработке паром через систему отведения конденсата происходит всасывание воздуха или недостаточно давления разряжения CO_2 . В таком случае при наполнении пивом горячего кега могут образовываться не только продукты реакции Майяра, но и происходить окисление полифенолов.

Имеется также возможность визуального контроля — выпускаются кеги с прозрачными стенками, аналогичные металлическим кегам. Такого рода кеги должны оснащаться термометром и манометром, и в целях предотвращения аварийных ситуаций важно проверять кег на повреждения (например, на неплотные или перекошенные фитинги). Практичен и довольно эффективен микробиологический контроль путем анализа показателей разбрызгиваемого пива. Особого внимания требует промывка клапана через вертикальную трубку, что представляет проблемы, прежде всего, для кегов с пшеничным пивом, так как пиво в кеге дображивается. В данном случае необходимо внести изменения в используемый клапан. Кроме того, при мойке жесткой водой возможны образование отложений и коррозия под действием хлоридов.

5.2.6. Цех розлива в кеги

В типовом цехе розлива в кеги моечные машины связаны с установкой розлива различными транспортирующими системами (роликовыми конвейерами, наклонными рампами, цепными транспортерами и т. п.). Заполненные кеги перемещают вертикально и горизонтально цепными транспортерами. Транспортирование кегов на поддонах вилочными автопогрузчиками встречается лишь на крупных пивоваренных предприятиях.

Участок складирования заполненных кегов должен находиться в изолированном охлаждаемом помещении (с температурой 5-6 °С). Необходимое пространство зависит от количества сортов пива, а также от производительности линии розлива. При ежедневном розливе участок складирования должен иметь возможность принять полуторно-двухсуточный объем продукции. Специальное пространство для хранения чистой тары в настоящее время больше не выделяется, так как кеги наполняют непосредственно после мойки. Полы асфальтируют, а в местах повышенной нагрузки их укрепляют арматурой или металлическими листами. При выгрузке на рампу кеги пропускают через небольшие люки, а при использовании вилочных автопогрузчиков продукцию отгружают через большие проемы с дверцами (в обычном положении закрытые с резиновыми уплотнениями).

Аппараты для розлива кегов монтируют в помещениях с кондиционированием воздуха, аналогичных цехам розлива в бутылки (иногда их располагают в одном помещении). Для обслуживания предприятий общественного питания, особых клиентов и т. д. предусматривают специальную холодильную камеру, из

которой можно поставлять бочковое пиво требуемой температуры.

5.3. Розлив в бутылки и банки

5.3.1. Тара

5.3.1.1. Бутылки. Бутылки, применяемые в Германии для розлива пива, за редким исключением выпускаются объемом 0,5 или 0,33 л. Пол-литровая бутылка претерпела в течение нескольких лет очень большие изменения — от евробутылки до узкой NRW-бутылки (от *Nord-Rhein-Westfalie*, земля Северный Рейн-Вестфалия, где эта бутылка впервые применена) с соответствующим изменением ящиков для бутылок. Наряду с этим на производстве появились бутылки особой формы для эля; кроме того, на некоторых предприятиях еще используется «классическая» пол-литровая бутылка с утолщенным горлышком под пробку с пружинным хомутом. С появлением *NRW-бутылки* производители практически перестали использовать бутылку типа «Виши». Пол-литровую штайни-бутылку (*Steinie*, бутылка «коренастого» типа с утолщением под горлышком) используют лишь на малых пивоваренных предприятиях. Среди бутылок объемом 0,33 л преобладает форма «Виши», но широко распространена и форма бутылки для эля.

Бутылки для розлива пива стандартизированы. Данные по евро- и *NRW-бутылкам* представлены в табл. 5.1.

Внутреннее давление в евробутылках составляет около 6 бар; внутреннее давление, при котором происходит разрыв бутылки, — 16 бар (стандартное отклонение — 1,75).

Требования, предъявляемые к бутылкам, касаются прежде всего соответствия их стандартным размерам, расположения центра тяжести и правильного исполнения венчика горловины бутылки. Во избежание появления «солнечного» привкуса (дефекта, обусловленного интенсивным воздействием на пиво в бокале или бутылке солнечного света) цвет бутылки должен быть светло-коричневым. Зеленое стекло используют меньше, поскольку оно характеризуется меньшим светопоглощением, чем коричневое. При пастеризации пива в бутылках особые требования предъявляются к материалу бутылок.

При закупорке бутылок чаще всего используют корончатые пробки (кронен-пробки) и реже — пробки с пружинным хомутом, алюминиевые навинчивающиеся колпачки и навинчивающиеся крышки. Кронен-пробки, алюминиевые колпачки и навинчивающиеся крышки снабжают уплотняющими прокладками из прессованной пробки или синтетических материалов. Прессованные пробковые прокладки со стороны, контактирующей с пивом, ламинируют алюминиевой

Таблица 5.1. Диаметр, высота и масса стандартных бутылок

	Евробутылка	Евробутылка III	NRW-бутылка
Диаметр, мм	70	68,5	67,5
Высота, мм	230	232	260
Масса, г	360	328	360

фольгой или полимерной пленкой. В состав прокладок из полимерных материалов (речь идет о полиэтилене, полипропилене, сополимерах этилена и винилацетата и о различных видах латексов) по международным соглашениям не должен входить ПВХ. Наряду с хорошей способностью выдерживать необходимое давление, прокладки из указанных материалов при избыточном давлении способны выполнять роль своего рода «клапана», что особенно важно при укупорке пшеничного пива. При хранении бутылочного пива прокладки из полимерных материалов обладают хорошими барьерными свойствами по отношению к кислороду. В последнее время все шире начинают применять различные способы повторной укупорки.

5.3.1.2. Банки. Преимущественно производятся банки цилиндрической формы с плоской крышкой и отрывным язычком. При этом при вскрытии банки система открывания остается на крышке, и тем самым не наносится вред окружающей среде. Большинство выпускаемых банок имеют объем 0,33 л, но доля поллитровых банок постепенно растет. Определенную часть рынка занимают литровые банки.

Банки — это одноразовая упаковка, подлежащая вторичной переработке. Изготавливают банки из тонкой жести или алюминия методом глубокой вытяжки. Алюминиевые банки емкостью 0,33 л имеют массу всего 24 г, но они легко деформируются и выдерживают лишь 20 %-ное разрежение, тогда как банки из белой жести — 60 %-ное. Практически стерильные банки непосредственно от производителя поступают на производство и перед розливом требуют лишь простого ополаскивания. На этикетке

указывают место изготовления и марку пива. Пастеризация банок должна проводиться быстрее, чем бутылок. Преимуществом банок является возможность быстрого охлаждения пива в них и защита содержимого от действия света. Одним из недостатков жестяных банок является необходимость использования внутреннего покрытия, которое требуется для защиты пива от воздействия металла и появления в нем «металлического привкуса», а также для сохранения стабильности свойств пива (эта проблема еще полностью не решена). Для определения правильности наполнения банок их взвешивают. Основная проблема при розливе в банки состоит в соблюдении требуемого низкого содержания кислорода в пиве, в связи с чем установка розлива в банки должна быть оснащена особыми наполнительными головками и специальным укупорочным оборудованием.

5.3.2. Мойка бутылок

Многоразовые бутылки необходимо очищать от остатков пива и загрязнений с контролем их состояния с микробиологической точки зрения.

5.3.2.1. Еще нередко для мойки бутылок используют барабаны для отмочки, щеточные машины и аппараты для шприцевания. Даже если механическая мойка вполне удовлетворительна, то эффективность мойки снижается из-за низких температур отмачивания (40–45 °С), и риска инфицирования от щеток.

5.3.2.2. При эксплуатации *аппаратов для шприцевания* качество мойки зависит от используемых химических средств, температур и давления, причем загрузка и выгрузка бутылок осуществляется вручную.

Такие бутылкомоечные аппараты обрабатывают не более 2-6 тыс. бутылок/ч, что гораздо меньше производительности карусельных бутылкомоечных машин в виде единой установки. Процесс мойки разбивается на несколько стадий — предварительное ополаскивание теплой (35-45 °С) водой, щелочная мойка (65-75 °С), ополаскивание теплой (35-40 °С) водой и, наконец, ополаскивание холодной водой. Ополаскивание бутылок осуществляется внутри и снаружи, при этом необходимо правильно отцентрировать моющую струю.

Несмотря на высокое давление шприцевания (около 3 бар) и щелочную мойку при 70 °С, на которую приходится более половины времени мойки (около 3 мин), микробиологическая и механическая эффективность такой мойки оставляет желать лучшего. Расход пара довольно высок (80 кг/1000 бут.), а автоматическая загрузка не предусмотрена.

5.3.2.3. Бутылкомоечные машины для отмочки и шприцевания выпускаются в большом количестве конструктивных вариантов. Принципиальной у них является автоматическая загрузка и выгрузка бутылок, которые через всю машину проходят в кассетах и после опорожнения и предварительного шприцевания при 40 °С погружаются в щелочную ванну с температурой раствора 60-80 °С. Продолжительность отмочки составляет около 6 мин, и от нее зависит степень микробиологической чистоты. Затем бутылки поступают в зону щелочной мойки под высоким (3,5-4,5 бар) давлением при температуре 60-65 °С, после чего — в зону ополаскивания теплой (40 °С) водой под давлением 2,5 бар и холодной водой (под давлением 1,5 бар). Бутылки промываются как с внутренней,

так и с внешней стороны, причем последовательность стадий мойки на разных предприятиях может быть различной. Помимо вышеописанной применяются также одна или две предварительные отмочки, подогрев бутылок и удаление остатков пива. Вторая предварительная отмочка способствует, помимо всего прочего, и экономии энергии. Последующая щелочная мойка осуществляется по всей длине бутылкомоечной машины, и в конце — обязательное отделение этикеток воздействием направленной струи. Дальнейшее удаление этикеток следует проводить как можно быстрее, не давая им распастись на отдельные волокна. В бутылкомоечных машинах определенной конструкции перед щелочной мойкой под высоким давлением заполненные щелочным раствором бутылки подвергаются более продолжительной отмочке, после чего этикетки сразу же смывают. В машинах другого типа предусмотрены две и даже три отмочки щелочным раствором в погружных ваннах, в ходе которых проходит термическое и химическое расщепление инородных тел. Между зоной щелочной обработки и ополаскивания теплой водой предусмотрены зоны для стекания жидкости. Ополаскивание осуществляют свежей водой, стекающей в резервуар, откуда переливом пополняет соседний резервуар с теплой водой. Температура воды в этом резервуаре повышается под действием теплоты от бутылок и тем самым удерживается в желаемой области. Возможные остатки щелочи удаляются противотоком. Теплая вода из последней щелочной зоны направляется на предварительные отмочки или ополаскивание.

Повысить эффективность предварительной мойки в прямолинейных машинах с двухъярусной загрузкой можно

путем расположения зоны предварительной отмочки на нижнем ярусе. Относительно новый метод «импульсного шприцевания» позволяет при незначительном давлении (1,8 бар) повысить число шприцеваний и при лучшем качестве мойки снизить энергозатраты. Применение форсунок обусловлено необходимостью повысить эффективность мойки на всех стадиях мойки и ополаскивания. Поворотные устройства для вращения бутылок изменяют направление потоков жидкости при наружном ополаскивании, улучшая качество мойки. Концентрация щелочи в зонах отмочки составляет 0,5-0,8 % NaOH, а в случае сильно загрязненных бутылок и для отделения этикеток из полимерной пленки или фольги — 1,5-2%. К щелочи иногда добавляют полифосфаты, причем рецептурную композицию можно составлять на предприятии с учетом жесткости воды или (наряду с силикатными средствами, предотвращающими коррозию) приобретать в готовом виде. При использовании специальных смачивателей степень удаления загрязнений возрастает настолько, что возникает возможность снизить концентрацию щелочи. Во избежание слишком сильного вспенивания, вызываемого прежде всего этикеточным клеем, в щелочной раствор для отмочки вводят пеногасители.

В процессе мойки щелочной раствор быстро загрязняется, в связи с чем перед и после насоса его необходимо фильтровать. Необходимо проводить ежедневный многократный контроль концентрации щелочи и значения pH моющего раствора (как правило, путем измерения электропроводности). После мойки в 1 м³ 30-50 тыс. бутылок щелочной раствор в первой зоне теряет свою эффективность. Загрязнения удаляются

с помощью специальной седиментационной емкости, так что щелочной раствор после восстановления требуемой концентрации может использоваться еще от 3 до 6 циклов. Очистка щелочного раствора с помощью ультра- или всасывающего ленточного фильтра значительно продлевает продолжительность его использования. При работе предприятия в одну смену щелочной раствор за 14 ч охлаждается, в связи с чем после опорожнения бутылкомоечной машины его отводят в изолированный танк для хранения, в котором на следующий день перед запуском машины его можно подогреть.

В настоящее время применяемые щелочные растворы нейтрализуют с помощью CO₂, удаляемого в процессе розлива. Щелочь для восстановления старого или приготовления нового раствора поставляется, хранится и дозируется преимущественно в жидком состоянии. Возникающий из-за наличия на бутылках алюминиевой фольги алюминат при восстановлении щелочного раствора может частично выделяться и в определенных условиях образовывать на стенках бутылок металлическую пленку, которая может стать причиной гашинг-эффекта (фонтанирования нива). Кроме того, существует риск обильного выделения водорода, который во избежание взрыва (из-за всасывания пара над погружной ванной и удаления его в головной части машины) необходимо отводить.

Во многих странах от использования алюминиевой фольги и этикеток на бутылках с пивом уже отказались, что решает многие проблемы их отделения и удаления в процессе мойки бутылок.

Теплая вода для ополаскивания не должна нарушать микробиологическую

стерильность бутылок, поступающих из зоны щелочной мойки, и поэтому ее хлорируют ($3-5 \text{ г/м}^3$). Кроме того, следует избегать образования камня в результате уноса щелочью ($10-20 \text{ мл/бут.}$) — эту проблему решают с помощью добавления полифосфатов. Стерилизацию зон щелочной мойки и ополаскивания проводят кипящей водой или дезинфицирующим раствором.

При нахождении бутылок в зоне ополаскивания холодной водой следует соблюдать необходимые меры предосторожности. Стерильность бутылки достигается в том случае, если вода для ополаскивания соответствует требуемым микробиологическим стандартам (при необходимости ее хлорируют, $1,0 \text{ г/м}^3$), проводится регулируемое увлажнение (устранение запотевания при выгрузке бутылок), а также если осуществляется ежедневная дезинфекция (головную часть машины обрабатывают паром, горячей водой или технической водой с дезинфицирующим средством). Зоны ополаскивания и охлаждения в противотоке, как правило, после их опорожнения промывают через систему форсунок и, при необходимости, дезинфицируют).

Несмотря на автоматизацию производства, все оборудование следует проверять визуально на предмет работоспособности форсунок, давления в насосе, температуры и т. д.

Производительность бутылкомоечных машин варьирует от 2 до 150 тыс. бут./ч. Вся обработка бутылок занимает около 15 мин, причем благодаря рекуперации теплоты на 1000 бутылок требуется 25-32 кг пара, $0,15-0,27 \text{ м}^3$ воды и 1,5-2,5 кВт электроэнергии. Чем крупнее бутылкомоечная машина, тем ниже затраты на энергоносители, причем ее изоляция дает 20-25 %-ную экономию теплоты.

От отработанной воды, выводимой из зоны предварительной отмочки, с помощью теплообменника можно получать часть энергии для создания необходимой температуры в помещении и т. п.

После мойки и перед розливом бутылки инспектируют просвечиванием. Под автоматической инспекцией бутылок понимают просвечивание доньшка бутылки — сфокусированный свет падает на фотоэлемент, который в случае затемнения (наличия загрязнения) подает импульс на удаление данной бутылки. Специальная камера позволяет распознавать инородные полупрозрачные частицы и почти все синтетические вещества. Контроль стенок бутылки также осуществляют с помощью камеры со специальным оборудованием (изображение пустой бутылки разлагается на мельчайшие точки, степень яркости которых служит для оценки чистоты. Аналогично проводят контроль горлышка. Предварительное разделение бутылок на более высокие или низкие упрощает их инспекцию. Контроль внутренней поверхности бутылки осуществляется одновременно с контролем доньшка и горлышка и позволяет обнаруживать крупные инородные включения. Основную проблему при анализе степени чистоты представляет этикетка, занимающая, как правило, довольно большую поверхность.

Особо важен контроль днища и наличия в бутылке остатков жидкости, который проводится с помощью сканера и дублируется при помощи камеры, а также дополнительными анализами. Для выявления остатков щелочного раствора применяют инфракрасные и высокочастотные детекторы.

Инспекторы бутылок изготавливают для карусельной и прямолинейной конфигурации бутылкомоечных машин.

5.3.3. Розлив в бутылки

Современный розлив в бутылки, протекающий из-за содержания CO_2 в пиве изобарометрически, не должен ухудшать качество пива. В ходе розлива необходимо соблюдать микробиологическую чистоту напитка, а также минимизировать потери CO_2 и поглощение воздуха.

В простейшем исполнении установка розлива представляет собой резервуар с пивом (как правило, кольцевой) со встроенными в кольцо наливными органами. На розлив бутылки от бутылкомочной машины транспортируются к подъемным элементам при помощи подающей звездочки (в некоторых случаях она скомбинирована с загрузочным шнеком). Подъемные механизмы во время вращения установки розлива поднимают бутылки и прижимают их к патрону наливного клапана — тем самым создается герметичное соединение бутылки и клапана. Контакт бутылок с наливным клапаном осуществляется преимущественно пневматически с избыточным давлением воздуха 2–3 бар. При вращении карусели включается наливной клапан — сначала в бутылке создается разрежение, после чего происходит налив пива под влиянием перепада давления. Отработанный воздух удаляется через канал, встроенный в наливную трубку и отводится в специальный резервуар или в отдельную емкость для возвратного воздуха и избыточного пива. Давление между этими емкостями и резервуаром для пива регулируется с помощью мембраны. Незадолго до конца оборота наливного устройства уровень пива в бутылке достигает отверстия канала для возврата воздуха. Подъемный стол опускается в результате отвода воздуха в возвратную трубку или с помощью дискового кулачка.

Наполненные бутылки по выпускающей звездочке передаются на транспортер и далее на укупорку. Автоматические установки розлива в бутылки различают по давлению розлива, по форме пивного резервуара и по типам наливных клапанов.

5.3.3.1. Розлив при вакуумировании происходит под избыточным давлением 0,8–1,5 бар, которое незначительно превышает давление насыщения пива CO_2 . Чаще всего такой способ розлива используют при наливных клапанах с трубкой. При высоком содержании CO_2 (например, 5,0 г/л) может понадобиться увеличение разрежения на 1,8–2,2 бар.

5.3.3.2. Розлив при высоком давлении применяют при розливе пива с содержанием более 5,2 г CO_2 /л, бездрожжевого пшеничного пива, при горячем розливе и при высокой производительности линии розлива. В некоторых случаях следует учитывать конструктивное исполнение наливного органа (для разных видов розлива требуются определенный тип наливного органа). Розлив пива ведут при давлении от 3 до 8 бар. Наполнение бутылки пивом должно происходить при разряжении CO_2 , поскольку пиво в зависимости от конструкции наливного органа может быть сильно насыщенным воздухом.

По форме резервуара с пивом различают следующие конструкции.

5.3.3.3. Пивной резервуар установки розлива выполнен с наклоном днища к наливному органу; собственно резервуар изготавливают из меди с оцинковкой внутренней стороны. Во время розлива резервуар заполнен пивом примерно наполовину. Из наполненной части резервуара

происходит отбор пива в наливные устройства, трубки подачи и возврата воздуха которых расположены над уровнем пива. Обратный поток возвратного воздуха и поступающее с ним незначительное количество избыточного пива ухудшают микробиологические показатели установки розлива. Содержание кислорода в пиве, находящемся в резервуаре, в ходе созревания может значительно повыситься. Поскольку установка розлива данного типа не позволяет применять повышенное давление розлива, не допускается и повышенное содержание CO_2 , в связи с чем ее используют в основном на линиях небольшой производительности. В модернизированном варианте этого аппарата предусмотрен отдельный резервуар для возвратного воздуха.

5.3.3.4. Установка розлива с кольцевым резервуаром сконструирована аналогично описанной выше. В пространстве над уровнем пива находится разреженный, реже возвратный воздух. Разреженный воздух отводится в специальный резервуар, давление в котором регулируется мембранным клапаном в зависимости от степени разрежения. В современных конструкциях каналы подачи воздуха, его возврата и канал пива разделены. Над пивом находится газ в виде своего рода подушки, применяемой для создания разрежения (возможно применение CO_2).

5.3.3.5. Установка розлива с кольцеобразным каналом. Кольцеобразный канал с пивом во время розлива полностью заполнен. Разреженный и обратный воздух поступают по специальным каналам трёхкамерной системы. Требуемое равновесное давление регулируется при помощи мембранного клапана. В данной

конструкции достигаются оптимальные показатели по содержанию кислорода, так как пиво не контактирует с поступающим и возвратным воздухом. Благодаря наличию небольшой разницы давлений между пивом и сжатым воздухом такую установку можно настроить на розлив конкретного сорта пива.

По типу блоков розлива и наливных устройств различают следующие конструкции.

5.3.3.6. Пробковое устройство (прежде использовали пробковый кран). В корпусе предусмотрены три сквозные отверстия— для подачи соответственно пива, воздуха и возвратного воздуха. При вращении пробки посредством боковой звездочки открываются необходимые каналы. После прижатия бутылки к наливному клапану сначала открывается канал подачи воздуха, и в бутылке создается давление разрежения. При повороте пробки канал подачи воздуха закрывается и открываются каналы подачи пива и возврата воздуха. В данном случае пиво заполняет бутылку за счет градиента давлений, при этом вытесненный воздух попадает либо обратно в кожух установки розлива, либо в специальный резервуар для возвратного воздуха.

Ранее при разрушении бутылки наполняющая трубка быстро перекрывалась плавающей пробкой. В настоящее время поток пива перекрывается металлическим поплавком, увлекаемым быстрой текущей жидкостью. Недостатком такой пробки был ее износ, приводящий к разгерметизации, к деформированию каналов и тем самым к турбулентности пива. Максимальная производительность данного наливного устройства составляет 20000 бут./ч.

5.3.3.7. Шиберное наливное устройство.

Корпус крана разделен на две части с соответствующими каналами, которые разделены перфорированными металлическим или пластмассовым шиберами. Первый поворачивается звездочкой наливного устройства, устанавливая соединение каналов, а пластмассовый шибер выполняет роль уплотнителя. Производительность такого наливного устройства аналогична предыдущему.

5.3.3.8. Наполнительное устройство по уровню

наполняет бутылки до определенной метки. Бутылки заполняются без предварительной откачки воздуха, так что газозвдушенная смесь из наливной трубки переходит в бутылку. Наливная трубка при извлечении перекрывается клапаном. При перекрытии пиво больше не поступает в бутылку. Клапан регулирования расхода при наполнении бутылки обеспечивает его равномерность. Сразу же после достижения пивом в бутылке требуемого уровня в результате возникшего перепада давлений между давлением налива и давлением возвратного воздуха возрастает скорость наполнения бутылки без образования турбулентности, благодаря чему можно производить розлив пива с высоким содержанием CO_2 при относительно низком давлении и незначительном поглощении воздуха. Наполнительные устройства такого типа выпускаются производительностью до 64000 бут./ч.

5.3.3.9. *Наливные клапаны* бывают как с наливной трубкой, так и без нее.

В конструкции наливного клапана с трубкой с внешней стороны кольцевого канала расположены клапаны. Процесс розлива протекает следующим образом: газом (CO_2 или N_2), поступающим из

специального канала через наливную трубку, осуществляется предварительное разрежение, под действием которого из бутылки снизу вверх вытесняется воздух через возвратный газовый канал. Через некоторое время возвратный канал для газа перекрывается и создается противодавление. В результате в бутылке находится под требуемым давлением только инертный газ. После открытия клапана подачи пива оно поступает к доннышку сначала медленно (из-за небольшого поперечного сечения отверстия в канале возврата газа). После поднятия уровня пива выше конца наливной трубки подключается второй малый канал (в канале возврата газа), и бутылка наполняется быстрее. После достижения пивом горлышка бутылки расход пива снижается благодаря дросселированию канала возврата газа, а при достижении уровня трубки возврата газа клапан подачи пива перекрывается. Разница в высоте налива (до 15 мм) может вызываться задержкой сигнала перекрытия клапана.

Процесс налива на современных установках розлива управляется электронной. После закрытия клапанов подачи пива и возврата воздуха давление стравливается путем подключения специальной камеры. Благодаря постепенному наполнению и стравливанию давления в конце наливные клапаны могут работать при большой производительности и при низком давлении. Возможен также розлив пива с высоким содержанием CO_2 . Производительность таких устройств розлива достигает 100 тыс. бут./ч.

Необходимо понимать, что чем выше производительность, тем хуже качество розлива. Оптимальная производительность установки розлива составляет около 60000 бут./ч, и производительность

бутылкомоечной машины желательно подбирать с учетом одновременной работы двух установок розлива.

Иногда розлив пива производят без наливных трубок. Принципиальное отличие этого способа заключается в том, что после создания противодействия пиво через уплотнительную манжету трубки возврата воздуха наливается по стенкам бутылки. Воздух при заполнении бутылки удаляется через маленькую трубку возврата воздуха, высота расположения которой ограничивает налив. Перед опусканием бутылки давление розлива сравнивается.

При таком способе налива используют однокамерную систему. При стекании пива по стенкам бутылки происходит его интенсивное взаимодействие с воздухом, и во избежание вспенивания при розливе необходимо высокое давление (2,5-3 бар). Для снижения поглощения кислорода существует несколько вариантов, при одном из которых в горлышко бутылки из дополнительной кольцевой камеры вводятся CO_2 или азот, благодаря чему пиво не поглощает воздух на границе сред. В большинстве случаев производят предварительное вакуумирование бутылки, для чего необходим специальный вакуум-канал, разрежение в котором создается соответствующим насосом, входящим в конструкцию наливного устройства. Разреженное пространство заполняется CO_2 (или азотом). Наполнение бутылки пивом проходит в три вышеописанные стадии: медленное наполнение в результате дросселирования канала возврата газа, быстрое наполнение, замедляющееся по мере приближения к горлышку бутылки, и корректировка уровня налива по мере закрытия наливного клапана. В некоторых конструкциях предусмотрено удаление

пива из патрубка возврата воздуха посредством продувки CO_2 или азотом, в результате чего горлышко бутылки дополнительно наполняется инертным газом. При розливе с помощью такого налива содержание кислорода в горлышке бутылки очень мало.

Далее на выпускающей звездочке укупорочной машины происходит автоматическое доведение уровня жидкости в бутылке до требуемого — соответствующий импульс вызывает не только отбраковывание бутылок с недоливом или переливом, но и корректирует работу наливного клапана.

5.3.3.10. Розлив со стерилизацией бутылки предназначен для стерильного розлива обеспеченного пива. Бутылки поступают из бутылкомоечной машины в установку розлива с температурой 50-60 °С, где благодаря острому пару температурой около 110 °С бутылки нагреваются примерно до 105 °С. При этом большая часть атмосферного воздуха вытесняется из бутылок в канал возврата газа. Воздействие острого пара, включая последующую промывку CO_2 , длится около 3 с, после чего создается противодействие CO_2 и осуществляется налив по трехкамерному принципу. Верхняя часть бутылки повторно продувается CO_2 . Во избежание повторного инфицирования бутылок они еще до укупорочного патрона наливного устройства накрываются стерилизованными кронен-пробками. Окончательная укупорка осуществляется с помощью традиционного укупорочного устройства для кронен-пробок.

Такой режим работы возможен и при использовании наливных устройств с трубкой, причем продувка CO_2 и создание противодействия происходит через наливную трубку. Отдельные стадии розлива

осуществляются под управлением компьютера.

5.3.4. Мойка и дезинфекция установок розлива

Комплексные установки после каждого цикла розлива необходимо промывать холодной водой. Регулярная мойка оборудования, включая все полости и каналы аппарата розлива, необходима для удаления остатков пива и пены. Многократность мойки обеспечивается специально смонтированными промывочными кранами. После мойки установку розлива ежедневно стерилизуют горячей водой (85-90 °С) или паром, в связи с чем все прокладки, мембраны и наливные органы должны быть термостойкими. Сразу же после стерилизации установку розлива охлаждают стерильным воздухом. Для дезинфекции установки розлива применяют дезинфицирующие средства с добавками ПАВ. При проведении дезинфекции установка должна быть загружена бутылками, а наливные органы находиться в рабочем положении. Иногда мойку и дезинфекцию проводят при циркуляции с извлеченной крестовиной между подающей и выпускающей звездочкой — при этом горячая вода или дезинфекционный раствор проникают во все соединения узлов, трубопроводы и каналы. Перед запуском установки необходимо провести окончательную промывку установки розлива стерильной водой, полученной с обезпложивающего фильтра или подвергнутой кратковременной термической обработке.

В настоящее время установки розлива оборудованы системой безразборной мойки (СІР), позволяющей периодически останавливать процесс розлива и промывать

оборудование горячей водой с температурой 95 °С. То же относится и к системам укупорки кронен-пробками.

5.3.5. Укупорка бутылок

Бутылки почти повсеместно автоматически укупорируются кронен-пробками. На крупных предприятиях укупорочные устройства объединены в единый блок с установкой розлива. Кронен-пробки занимают правильное положение в специальной звездочке, где они попадают на направляющую, придающую пробке нужную ориентацию. Затем по «пробкопроводу» с поворотной трубой пробки доставляются к бутылкам, где гидравлически или механически прижимаются к ним пуансоном. Разница в высоте бутылок одного типа компенсируется пружиной. Особое внимание следует уделять мойке и дезинфекции органов укупорки (см. раздел 5.4.1.3).

Использование для укупорки алюминиевых колпачков требует (особенно на крупных установках) наличия двух агрегатов — на одном колпачки штампуют из алюминиевой ленты, а на втором осуществляется собственно укупорка бутылок.

Иногда для укупорки бутылок с пивом применяют навинчивающиеся алюминиевые колпачки. Крышки такого типа насаживаются на бутылки, как кронен-пробки, прижимаются к ней, а затем закатываются боковым роликом по резьбе горлышка бутылки.

Пробки с пружинным хомутом на большинстве крупных предприятий уже не применяются, однако они используются на некоторых малых предприятиях и пользуются популярностью на выставках-ярмарках. Процесс механической укупорки такими пробками довольно сложен, поскольку следует обеспечить

правильное размещение, центровку и прижим пробки с заменой дефектных уплотнительных прокладок. Укупорочные машины для такого способа укупорки с производительностью 12-14 тыс. бутылок/ч не полностью автоматизированы, и для контроля требуется высококвалифицированный персонал.

5.3.6. Поглощение кислорода в процессе розлива

В ходе розлива необходимо жестко контролировать поглощение кислорода пивом и предпринимать меры по его снижению.

5.3.6.1. В пиве, находящемся в танке для дображивания, содержание кислорода при нормальном ходе дображивания практически равно нулю. Созревшее, выброженное пиво перекачивается в танки для «холодного» хранения или стабилизации. Ни для транспортировки пива, ни для создания противодействия в танке CO_2 не используется, и в зависимости от формы танка может поглощаться кислород (0,1-0,3 мг/л), что достаточно много. При недостаточной высоте уровня пива в танке содержание кислорода в нем может повышаться до 3 мг/л, а в трубопроводе медленно снижается лишь после переключения на следующий танк, для чего применяют специальные отводящие пластины. Пребывание частично опорожненного танка под давлением воздуха (которое затем должно снижаться до давления шпунтования) приводит к дополнительному проникновению воздуха в верхние слои пива. Оптимальным является перекачивание пива из танка для дображивания под давлением CO_2 .

5.3.6.2. Поглощение кислорода при фильтровании пива. Шланги и трубопроводы,

смешивающий узел и регулятор давления до начала циркуляции пива должны быть деаэрированы путем прокачки воды. Аналогичным образом воздух также необходимо удалить из кизельгурового фильтра, так как в кизельгуре и в воде, используемой для намывки слоев, содержится определенное количество кислорода — около 8 мг/л. Перед фильтром в самой высокой точке трубопровода должно быть предусмотрено отверстие для выпуска воздуха. Деаэрация воды для дозирования и промывания обязательна, и проще всего ее осуществить путем карбонизации, однако лучше использовать вакуумирование и дополнительное внесение CO_2 . Существуют специальные установки для деаэрации воды, в которых можно также проводить водоподготовку для разбавления слишком сброженного пива (см. раздел 9.3). Такие установки способны обеспечить содержание кислорода в воде менее 0,05 мг/л.

Воду собирают и охлаждают в специальном резервном танке.

Поглощение кислорода при использовании пластинчатого кизельгурового фильтра немного выше 0,1-0,15 мг/л, а в случае фильтра с коническим днищем в пиво попадает больше кислорода из-за наличия в фильтре «воздушного колпака», слоя воздуха над пивом. В данном случае в качестве защитного газа необходимо применять CO_2 . Современные способы фильтрования (например, намывка кизельгура горячей водой, а также стерилизация (см. раздел 4.2.2.4), позволяют удалить кислород в достаточной степени, тем более что перед перекачиванием пива проводится опорожнение и продувка CO_2 . Процесс намывки фильтра пивом значительно снижает содержание кислорода в системе, но в применяемом для намывки пиве содержание кислорода

повышается. Содержание кислорода в пиве, используемом для вытеснения воды из очищенного фильтра и вымываемого водой после фильтрования, должно доводиться путем интенсивной карбонизации менее чем 0,3 мг O_2 /л. Лишь после этого такое пиво может поступать на смешивание. При фильтровании пива переход с пива «первого потока» на «основное» пиво должен осуществляться не по массовой доле СВ, а по содержанию кислорода (менее 0,15 мг/л). При неисправности смесителя для пива может происходить подсос воздуха и тем самым увеличение содержания кислорода в пиве.

5.3.6.3. На стадии розлива основным местом обильного поглощения кислорода служит резервуар с пивом. При перекачивании пива в пустой танк оно захватывает воздух, доля которого в потоке пива зависит от его скорости и давления воздуха. В результате установки отражателя из высококачественной стали, а также благодаря применению пластмассовой заслонки или впускного штуцера поглощение кислорода можно снизить с 0,8-1,2 до 0,2-0,4 мг/л. Не следует оставлять пиво в накопительном танке под высоким давлением воздуха на продолжительное время. К установке розлива пиво лучше перекачивать с помощью насоса, а не под давлением воздуха (в последнем случае над пивом не образуется «подушка» из CO_2 , защищающая пиво от воздействия воздуха). Отражатель хорошо сочетается с созданием в танке с избыточным давлением разряжения (или противодавления) CO_2 ; эта операция осуществляется незадолго до открытия впускного крана. Таким образом, благодаря противодавлению требуемое содержание CO_2 (около 95 %) достигается

в половине танка. После опорожнения танка с помощью CO_2 газ возвращается в установку регенерации, как и CO_2 из танка для дображивания. С учетом всех рисков пиво можно перекачивать на розлив с содержанием кислорода около 0,05 мг/л.

5.3.6.4. Промывка пива CO_2 в накопительном танке целесообразна в случаях, когда пиво (например, «первый поток») поглотило много кислорода (в начале фильтрования или из-за неконтролируемого его поступления). С помощью мелкопористых металлических свечей (1-2 шт./100 гл) CO_2 барботируют сквозь пиво в течение 7-12 ч до достижения требуемого содержания кислорода. Используемый для карбонизации CO_2 должен иметь степень чистоты в 99,95 %.

5.3.6.5. *Аэрация пива при розливе в бутылки.* Для поглощения воздуха имеются три возможности: из резервуара установки розлива (кольцевого резервуаре), в ходе собственно процесса розлива и, наконец, из пространства горлышка бутылки.

Поглощение воздуха верхним слоем пива *из резервуара установки розлива* происходит в результате длительного пребывания в нем пива. Собственно *при розливе* поглощается существенно большее количество воздуха — на клапанах с наливной трубкой в зависимости от напора и противодавления. В случае длинных наливных трубок поглощение составляет менее 0,1 мг O_2 /л, а при высоте напора 100 мм оно составляет около 0,4 мг O_2 /л.

При создании в наливной трубке противодавления CO_2 , а также благодаря возможности предварительной промывки CO_2 можно получить очень низкое содержание кислорода — менее 0,02 мг/л.

Поглощение кислорода в наливных устройствах с короткой трубкой составляет при давлении розлива 1,2 бар 0,5 мг/л, а при давлении 2,5 бар — 1,4 мг/л.

При розливе через наливные устройства без наливной трубки поглощение кислорода составляет:

При создании противодавления воздухом (2 бара)	1,1-1,6 мг/л
При создании в бутылке противодавления CO_2 (содержание CO_2 в отводимом воздухе около 60 %)	0,5-0,7 мг/л
При вакуумировании и разрежении CO_2 (содержание CO_2 в отводимом воздухе около 90 %)	0,05-0,1 мг/л
При двойном предварительном вакуумировании и разрежении CO_2 (при более высоком содержании CO_2 в отводимом воздухе)	0,02 мг/л

Поглощение воздуха из пространства горлышка бутылки. В стандартной пол-литровой бутылке пространство над жидкостью составляет около 4 %, то есть его объем равен примерно 20 мл. Если розлив пива происходит в бутылки с противодавлением воздуха без образования пены, то в пространстве горлышка бутылки содержится около 16 мл воздуха, то есть 4,5 мг O_2 /бут. или 0,9 мг/л. Этот воздух может диффундировать в пиво и вызвать ряд негативных явлений. Чтобы свести содержание воздуха в горлышке бутылки к минимуму, существует несколько способов, которые вызывают вспенивание пива и удаление воздуха с пеной:

- снижение противодавления или снижение до минимума давления розлива;
- повышение температуры пива в процессе розлива;
- постукивание по бутылке (лучше двумя пружинными клопферами или молоточками);

- ультразвуковое воздействие, при котором образуется пена, состоящая из множества мельчайших пузырьков;
- впрыскивание пива, CO_2 или воды на поверхность напитка в наполняемой бутылке.

Особенно эффективен последний способ, то есть впрыскивание в горлышко бутылки холодной или горячей воды. При его выполнении следует учитывать, что при безупречной работе наливных органов пиво содержит достаточное количество CO_2 (более 4,5 г/л) и обильная шапка пены достигает не только конца горлышка бутылки, но и слегка переливается через край. Потери пива при этом составляют 1-2 мл/бут. При использовании данного способа содержание воздуха можно снизить на 1,0 мл /бут., что для пол-литровой бутылки соответствует 0,42 мл или 0,56 мг O_2 /л. При нормальных условиях в пиве содержится менее 0,4 мг свободного O_2 /л, и в результате общее содержание кислорода оказывается около 1,0 мг/л.

Розлив пива под противодавлением CO_2 . При давлении розлива в 2,5 бар содержание CO_2 составляет свыше 70 %; расход CO_2 составляет около 440 г/г. Как правило, содержание воздуха в пространстве горлышка бутылки удается снизить на 0,3-0,4 мл. При предварительном вакуумировании и создании противодавления CO_2 в бутылке можно достичь содержания CO_2 более 90 %. При этом расход CO_2 составляет около 150 г/г. В результате содержание воздуха в пространстве горлышка бутылки может быть снижено на 0,2-0,3 мл.

При использовании двойного предварительного вакуумирования содержание CO_2 в пространстве горлышка бутылки составляет практически 100%. При этом становится излишним шприцевание

горячей водой, однако требуется 300-400 г CO_2 /г л. Удаление пива из трубки возврата воздуха и ввод CO_2 в пространство горлышка бутылки для корректировки высоты налива определяет содержание воздуха в горлышке, составляющее 0,1-0,15 мг/л. Применение длинных наливных трубок с предварительной промывкой CO_2 позволяет отводить незначительные остатки воздуха и, таким образом, снизить содержание воздуха в пространстве горлышка.

При розливе более 60 тыс. бут./ч в результате действия центробежной силы на выходе из установки розлива происходит «наклон» поверхности пива, которая при возвращении в горизонтальное положение вновь высвобождает воздух. В данном случае положительно сказывается транспортировка бутылки к выпускному отверстию с помощью большой звездочки.

Общее содержание кислорода в бутылке не должно превышать 0,20 мг/л и складывается из начального содержания (0,05 мг/л), поглощения при розливе (0,05 мг/л) и содержания воздуха в пространстве горлышка (0,1 мг/л). В результате сбоя в работе установки розлива или укупорки содержание кислорода в пиве может значительно повыситься, и такое пиво необходимо вывести от общего потока и переработать с остаточным пивом. Это требует тщательного контроля на кислород с помощью самопишущего газоанализатора, который рекомендуется устанавливать в контрольных точках трубопровода.

Розлив с противодавлением азота по сравнению с дорогостоящим CO_2 несколько дешевле. Азот может также использоваться в качестве защитного газа. Хранить азот следует при температуре 77 К (-196 °С) и атмосферном давлении. 1 кг CO_2 занимает 0,554 м³, а 1 кг азота —

0,872 м³. При использовании азота необходимо учитывать, что под действием разности парциальных давлений и CO_2 он выделяется из пива и скапливается в верхней части танка. Это может привести (например, при избыточном давлении в 1,8 бар в течение 48-72 ч) к потерям CO_2 в 0,1-0,2 г/кг пива. Качество пива при продаже пива в розлив с противодавлением N_2 и CO_2 одинаковое, но при хранении в течение примерно 6 мес. в пиве, разлитом с CO_2 , обнаруживается незначительное старение, выявляемое органолептически и аналитически.

5.3.6.6. Поглощение кислорода при розливе в банки несколько выше, чем при розливе в бутылки, так как зачастую применяются однокамерные наливные устройства (без наливной трубки), а предварительное вакуумирование алюминиевых банок дает низкое разрежение (20 %). Удаление воздуха из верхней части банки, несмотря на образование шапки пены и скапливание CO_2 под крышкой, осуществить несколько проще, чем у бутылок. При определенных обстоятельствах может возникать недолив. Необходимо учитывать, что в установке розлива для создания противодавления в банке должен использоваться CO_2 , а его применение для предварительной промывки дает дополнительный эффект.

5.3.6.7. Поглощение кислорода при розливе в кеги несмотря на небольшую поверхность контакта пива с воздухом иногда достаточно велико. Возможными причинами попадания кислорода в пиво могут быть отсутствие в установке розлива в кеги разделения пространства для пива, прямого и обратного воздуха; собственно розлив при слишком высоком давлении, разбрызгивание пива (вследствие

дефектов наливного органа) или его турбулентность из-за слишком высокой скорости розлива. Хорошо зарекомендовали себя наливные органы, заполняющие кег сначала медленно, а затем, после достижения пивом определенного уровня, выходящие на полную мощность. Розлив в кеги следует проводить под противо-давлением CO_2 . В результате стерилизации паром удаляется кислород воздуха; создание противодействия CO_2 может осуществляться вместе с предварительной промывкой. Таким образом, содержание кислорода в заполненном кеге составляет менее 0,1 мг/л.

5.3.6.8. Средний расход CO_2 (кг/гл)

составляет:

опорожнение лагерного танка	0,40*
промывка трубопроводов, фильтрование	0,40
напорный танк	0,45**
создание противодействия при розливе в бутылки без предварительного вакуумирования	0,40
с предварительным вакуумированием	0,20
с двойным предварительным вакуумированием	0,40
розлив в кеги, промывка, создание противодействия	0,60
розлив в бочки	0,70
промывка унитанка	0,50*
полная карбонизация	0,60
корректировка карбонизации	0,15

* С возможностью регенерации CO_2 .

** При создании давления в танке отводимый CO_2 может регенерироваться (в таком случае потери минимальны, если опорожненный напорный танк подвергается кислотной мойке, а отведенный CO_2 используется при наливке для создания противодействия в танке). Расход CO_2 зависит от размера опорожняемого танка, продолжительности эксплуатации фильтра, размера бутылки и кега. Для розлива в бутылки из танка для дображивания требуется получить около 1,7 кг CO_2 /гл.

5.4. Стерильный розлив и пастеризация пива

Из-за возрастающих требований к биологической стойкости пива в связи с изменяющимися способами его реализации (в частности через крупные фирмы и торговые сети) целесообразно проводить стерильный розлив пива. Особой обработки требует также пиво, отправляемое на экспорт или транспортируемое на большие расстояния. Требуемая биологическая стойкость пива может быть достигнута двумя путями: способом холодной стерилизации с последующим стерильным розливом или пастеризацией уже пива в бутылках (последняя включает также горячий розлив пива).

5.4.1. Стерильный розлив

С помощью обеспложивающего фильтра или благодаря кратковременной термической обработке можно проводить стерильный розлив пива.

5.4.1.1. *Обеспложивающее фильтрование*, осуществляемое с помощью специальных адсорбирующих слоев фильтрующего материала (см. раздел 4.2.3.2), в целом весьма надежно. Производительность фильтрующих слоев не должна превышать 1,0-1,3 гл/м²-ч, причем фильтрование должно прекращаться через 20-30 ч их эксплуатации или при разности давления в 1,3 бар. Качество фильтрования зависит, прежде всего, от степени предварительного фильтрования и отсутствия гидравлических ударов. Стерилизацию фильтра проводят паром низкого давления (0,2-0,3 бар), причем обрабатывается вся система трубопроводов до наливных органов и буферный танк. В результате высококачественного

филтрования происходит не только уничтожение микроорганизмов, но и меняется состав пива (под адсорбционным воздействием фильтрующих материалов). В начале филтрования прежде всего удаляются красящие вещества, горькие вещества хмеля и большая часть коллоидов (такое пиво необходимо смешивать с партиями, фильтруемыми позже). В первые часы филтрования существенно ухудшается качество пены.

Хорошо зарекомендовало себя двойное филтрование на кизельгуровом фильтре, когда постоянно дозируемая намывка осуществляется только мелким кизельгуром с добавлением адсорбирующего средства (целлюлозы) и ксерогеля.

Для высококачественной стерилизации можно использовать свечной мембранный фильтр с размером пор менее 0,45 мкм, а также керамический фильтр с намывным кизельгуром (см. раздел 4.3). Такие фильтры, в отличие от пластинчатых, менее чувствительны к гидравлическим ударам. Их можно располагать перед устройством розлива в бутылки или кеги без буферного танка.

5.4.1.2. Кратковременная термическая обработка пива осуществляется в пластинчатом аппарате, состоящем из множества передающих тепло пластин, которые изготовлены из хромоникелевой стали (V2A) или из сплава хрома, никеля и молибдена (V4A). Форма первой со стороны подачи пива пластины приводит к частой смене направления потока, и пиво соответственно охлаждается или нагревается, в результате чего благодаря тонкому слою жидкости достигается ускоренный или продолжительный теплообмен. Установка для кратковременной термической обработки состоит из четырех секций.

Секция теплообмена для нагревания и охлаждения пива в противотоке в зависимости от размера и расположения характеризуется высокой теплопередачей (93-94, вплоть до 97 %). При температуре пастеризации, например, 72 °С пиво поступает в теплообменник с температурой 67 °С, так что в данной секции (обогреваемой горячей водой) необходимо повысить температуру лишь на 5 °С. Температура горячей воды в устройстве обогрева не должна превышать температуру пива более чем на 2-3 °С. Температура пастеризации (68-75 °С) сохраняется в этой секции 30-60 с. В ней имеется камера, в которой скорость потока пива замедляется, причем в ней возникает турбулентность потока, благодаря которой предотвращается повышенное нагревание жидкости. Оптимальными являются трубчатые пастеризаторы (в простейшем виде они представляют собой пивопровод диаметром 40-80 мм), позволяющие проводить пастеризацию достаточно быстро.

Температура при такой кратковременной обработке (обычно 68-72 °С) для «безопасности» поддерживается на минимальном уровне (68 °С). Продолжительность действия этой температуры рассчитано так, что достигается степень пастеризации в 27-52 ПЕ. Учитывая резистентность некоторых штаммов лактобактерий (в частности, *L. lindneri*), необходима интенсификация процесса стерилизации. При стерилизации остаточного пива применяют температуру в 90 °С.

Затем нагретое пиво вновь поступает в секцию теплообмена, где отдает теплоту вновь поступающему пиву. При указанной высокой теплоотдаче в зависимости от температуры нового пива на выходе из теплообменника оно характеризуется температурой 7 °С. Этой температуры

при соответствующей конструкции установки розлива достаточно для непосредственного розлива. Дополнительная охлаждающая секция требуется лишь для пива с высоким содержанием CO_2 . Этот охладитель работает на рассоле или непосредственно на испаряющемся хладагенте (например, аммиаке — в этом случае он представляет собой отдельный кожухотрубный испаритель).

При нагревании пива давление в системе должно быть выше давления насыщения CO_2 . В противном случае CO_2 улетучивается и вызывает необратимое белковое помутнение. Давление устанавливают в соответствии с температурой пива и содержанием в нем CO_2 : например, при 72°C и содержании CO_2 5,5 г/л — 8,5 бар, а у пшеничного пива с содержанием CO_2 9 г/л — 14,8 бар. Для подстраховки давление при переходе из пастеризатора в теплообменник должно быть на 3-4 бара выше давления насыщения CO_2 . При этом возникают повышенные нагрузки на материалы. Необходимое давление в системе должно поддерживаться насосом. Во избежание попадания при возможном разрушении пластины нестерильной жидкости в стерилизованное пиво его давление в теплообменнике должно быть выше, чем давление нестерильного пива. Для этого между теплообменником и нагревателем располагают второй насос, создающий повышенное давление на стерильной стороне теплообменника. Чтобы выровнять давление с давлением розлива снижения давления в теплообменнике уже не достаточно, особенно если отсутствует дополнительный отдел охлаждения. В итоге возникает потребность в клапане, регулирующем давление, который обеспечивал бы требуемое снижение давления и его поддержание для проведения розлива.

Для обеспечения требуемой температуры и продолжительности ее воздействия установка кратковременной температурной обработки оснащена системой автоматического регулирования давления воздуха. При недостаточной температуре пива оно отводится либо снова в секцию пастеризации, либо в танк для остаточного пива. Аналогичным образом автоматизирован и процесс мойки, включающий щелочную и кислотную мойку, а также стерилизацию горячей (90°C) водой.

Кратковременную температурную обработку можно проводить разными способами.

- а) Непосредственно после фильтра в стерильном танке под давлением. Производительность установки должна соответствовать производительности фильтра. При таком способе подключение установки осуществляется довольно просто, что важно из-за необходимости поддерживать все трубопроводы в идеально стерильном состоянии.
- б) Между установкой для кратковременной температурной обработки и установкой розлива располагают буферный танк, способный вместить объем пива, образующегося в течение 15-20 мин. Такой буферный танк компенсирует колебания в производительности установки розлива и небольшие сбои или паузы. В данном случае возможно снижение производительности установки кратковременной температурной обработки (например, на 50 %). Более продолжительная обработка уравновешивается автоматическим изменением ее температуры (например, вместо 30 с при 72°C — 60 с при $69,5^\circ\text{C}$, что равно 26 ПЕ). Такое подключение также выполняется относительно просто,

оно безопасно в эксплуатации. Буферный танк стерилизуют, как правило, вне обычного цикла стерилизации,

в) Непосредственно перед установкой розлива. В этом случае на температурной обработке сказываются незначительные колебания в производительности розлива. При снижении нагрузки повышается противодавление в системе, и расход снижается, а при внезапном увеличении производительности может произойти снижение температуры в нагревателе. Во избежание этого рекомендуется предусмотреть буферный танк с горячей водой (при производительности 200 гл/ч объемом на 200 л). При снижении температуры обработки ниже заданного уровня установка кратковременной температурной обработки отключается. При остановке розлива прекращается и поток пива через эту установку, в результате чего во всей системе устанавливается повышенное давление, но насос продолжает работать, и пиво нагревается. Во избежание повышенных нагрузок на материал желателно снизить производительность насоса до требуемого уровня, который должен заметно превышать давление насыщения CO_2 . При более длительных остановках производства (более 5-пастеризованное» пиво отводится (при производительности 200 гл в час — около 4 гл пива). При еще более длительных остановках или при смене сортов пива целесообразно заменить пиво водой.

Из вышеизложенного следует, что при способах а) и б) устраняется возможность неравномерной или слишком сильной термической нагрузки на пиво, тем большей, чем выше содержание кислорода

в пиве и чем чувствительнее пиво к температурному воздействию, зависящему от способа его производства.

Энергопотребление установки для кратковременной температурной обработки вследствие высокой степени регенерации теплоты составляет лишь 2100 кДж (500ккал)/гл (для охлаждения с 7 °С до 1 °С - 2500кДж (600ккал)/гл). Розлив при такой (или немного более высокой) температуре в бутылки и кеги никаких проблем не составляет.

Тем самым при низком содержании кислорода в пиве кратковременная температурная обработка обходится значительно дешевле, чем обесспложивающее фильтрование. Содержание кислорода должно быть известно до прохождения через установку кратковременной температурной обработки, иначе трудно определить различия в физико-химической стабильности пива. Старение такого «температурно» обработанного пива по сравнению с использованием обесспложивающего фильтрования происходит не намного быстрее. Микробиологическая эффективность в целом удовлетворительна, но при кратковременной температурной обработке она зависит и от внешних условий.

Итак, установка для кратковременной температурной обработки должна быть безупречно продумана относительно периферии и эксплуатироваться квалифицированным персоналом. По возможности следует избегать перепадов давления в поступающем потоке пива или при переходе с воды на пиво. «Первую воду» необходимо деаэрировать, из сети трубопроводов воздух должен быть полностью удален, а содержание микроорганизмов в пиве вследствие гидравлических ударов не должно внезапно возрастать. Необходимо избегать подсоса

воздуха или CO_2 в танк под давлением. Прямое попадание в пиво пузырьков газа через установку кратковременной температурной обработки может стать причиной инфицирования пива, которого необходимо избегать, так как далее предполагается уже установка розлива.

5.4.1.3. Стерильный розлив пива — это совокупность мероприятий, которые мы рассматривали ранее (см. раздел 5.3.2.3). Высокотемпературная щелочная мойка, хлорирование воды, ополаскивание теплой и холодной водой, стерилизация секций бутылкомоечной машины и, наконец, обработка бутылок паром в бутылкомоечной машине — все это составляющие надежной стерилизации бутылок наряду с тщательной мойкой и обработкой паром наливного устройства, а также (при определенных обстоятельствах) его стерилизация. Целесообразно проводить стерилизацию установки розлива непосредственно перед началом розлива — она должна быть остановлена на 2-3 ч (см. раздел 5.3.5), например, в момент сбоя на складе готовой продукции, и промываться горячей водой при температуре 95 °C. При этом горячая вода с указанной температурой должна циркулировать по кольцеобразному трубопроводу.

Ранее предпринимались попытки стерилизации бутылок, поступающих из бутылкомоечной машины, перед розливом, для чего использовался SO_2 -стерилизатор. В этом стерилизаторе с особыми наливными устройствами влажные бутылки подвергались обработке SO_2 под давлением. Диоксид серы (расход 150 мг/л) после кратковременного воздействия выводился через стерильную трубку. В следующей зоне пастеризатора производилась предварительная продувка бутылок CO_2 путем заполнения буты-

лок CO_2 . В установке розлива поэтому достигалось противодействие, сформированное на 80 % CO_2 .

В последнее время появились аппараты, в которых бутылки обрабатываются паром непосредственно в установке розлива, благодаря чему и достигается их стерильность.

Надежная стерилизация может быть достигнута при небольшой производительности установки розлива благодаря фламбированию крышки (обработке пламенем) при ее подаче в укупорочный патрон. Фламбирование осуществляется при помощи регулируемой струи пламени, синхронизированной с работой установки. Периодическую мойку и дезинфекцию проводят как путем мойки установки розлива горячей водой, так и (при необходимости) надуксусной кислотой или йодоформом. Загрязнение укупорочного патрона в результате вспенивания и гашинг-эффекта (повышенное пенообразование вызывается в целях снижения содержания воздуха в пространстве горлышка бутылки) может служить опасным источником инфекции. Оптимальными мерами в этом случае являются продувка CO_2 или двойное предварительное вакуумирование в сочетании с продувкой CO_2 .

5.4.2. Пастеризация пива

Суть принципа пастеризации заключается в инактивации или уничтожении дрожжей и микроорганизмов, вызывающих порчу пива. Благодаря кислой реакции пива стерилизацию можно проводить при относительно низких температурах, поскольку указанные микроорганизмы становятся не способны к образованию спор. Обеспложивающий эффект стерилизации зависит от температуры

и продолжительности ее воздействия. Чем выше температура, тем меньше требуется времени для пастеризации, и наоборот, чем она ниже, тем дольше следует проводить пастеризацию.

Для определения эффективности пастеризации принята система пастеризационных единиц (ПЕ) — 1 ПЕ соответствует обеспоживающему действию температуры 60 °С в течение 1 мин. ПЕ рассчитывается по формуле:

где Z — время, мин; T — температура пастеризации, так что 56 °С соответствует 0,27 ПЕ, 58 °С - 0,52 ПЕ, 60 °С - 1 ПЕ, 62 °С - 1,9 ПЕ, 64 °С - 3,8 ПЕ, 66 °С - 7,3 ПЕ, 68 °С - 14 ПЕ и 70 °С - 27 ПЕ.

Поскольку разные микроорганизмы обладают разной степенью чувствительности к температуре, то нижний предел ПЕ для обеспоживания микроорганизмов составляет:

культурные дрожжи (вегетативные клетки), грамотрицательные бактерии (<i>Pectinatus</i>)	5 ЕП
<i>Lactobacillus brevis</i> , <i>L. coryniformis</i> , <i>L. casei</i>	5 ЕП
<i>Pediococcus damnosus</i>	8 ЕП
обычные возбудители порчи пива и <i>Megasphaera</i>	18 ЕП
<i>Lactobacillus lindneri</i>	20 ЕП
<i>Lactobacillus frigidus</i>	25 ЕП
аскоспоры, вызывающие порчу дрожжей, и <i>Micrococcus kristinae</i>	30 ЕП

При пастеризации для достижения надежного результата нельзя снижать температуру и продолжительность воздействия ниже определенной границы. Для аппарата кратковременной температурной обработки предельные границы температуры и продолжительности воздействия составляют 66,4 °С и 15 с, а для тоннельного пастеризатора — 61 °С и 4,5 мин.

Хотя пастеризация обеспечивает биологическую стойкость пива, высокие температуры вызывают снижение физико-химической стабильности пива, так как отчасти из-за выделения CO_2 , повторного уплотнения белковых дубильных веществ после набухания и не в последнюю очередь из-за их окисления возможно возникновение мути (так называемая «пастеризационная муть»). Во избежание этого необходимо тщательно стабилизировать пиво, однако стабилизация, в свою очередь, может отрицательно сказаться на вкусе пива и стойкости пены. Из-за пастеризации ускоряется старение пива — у него исчезают свежий ароматный запах и вкус. В результате окисления полифенолов и под воздействием аминокислот и остаточных Сахаров в пиве протекает реакция Майяра (см. раздел 7.6.5), которая, в свою очередь, катализирует дальнейшее окисление жирных кислот, высших спиртов и т. д. Параллельно с этими изменениями происходит изменение цвета пива — например, светлое пиво насыщается вышеуказанными продуктами реакции и приобретает коричневатую окраску. Эти процессы протекают тем быстрее и отчетливее, чем больше в пастеризованном пиве содержится кислорода и чем выше была температура пастеризации. Конечно, все эти негативные последствия могут возникать и в непастеризованном пиве, однако из-за нагревания старение пива ускоряется.

Как уже отмечалось ранее, под пастеризацией понимают обработку уже бутилированного пива, однако существует и способ горячего розлива.

5.4.2.1. Пастеризация бутилированного пива для сохранения требуемых его свойств осуществляется в основном в туннельном пастеризаторе, в котором температурное

воздействие гораздо продолжительней. При этом должны выполняться следующие условия:

- изменение температуры должно протекать медленно (например, нагревание на 3 °С, а охлаждение на 2 °С за 1 мин), так как из-за резких скачков температуры бутылка может разрушиться; при розливе в банки изменение температуры может протекать быстрее;
- чтобы избежать недопустимого повышения внутреннего давления, в бутылке должно быть около 3 % свободного пространства, а давление зависит и от содержания CO₂ в пиве; если бутылка в большинстве случаев выдерживает давление в 12 бар, то кронен-пробка — всего лишь 7-8 бар, хотя вероятность разрушения бутылки резко возрастает при давлении выше 7 бар.

При большой производительности пастеризацию проводят в полностью автоматизированных туннельных пастеризаторах, а при небольшой — в пастеризационной камере.

Туннельный пастеризатор располагают на линии розлива бутылок между укупорочной и этикетировочной машинами. В нем можно обрабатывать до 100 тыс. бутылок/ч. Для экономии производственных площадей его зачастую монтируют в несколько ярусов.

Бутылки перемещаются в пастеризаторе при помощи пластинчатых цепей или колосников (подвижных и неподвижных). В последнем случае бутылки в вертикальном положении располагаются на стационарных колосниках, а перемещение вперед осуществляется подвижными колосниками за счет поступательно-возвратного движения («шаг пилигрима»). Нагревание бутылок проводят путем их обильного орошения водой из резервуара

с перфорированным днищем или распылительными форсунками. В секции предварительного нагревания пиво примерно за 20 мин нагревается до температуры пастеризации (например, 62 °С), затем 20 мин эта температура поддерживается на требуемом уровне, после чего в течение 20-22 мин происходит охлаждение до 25-30 °С (итого продолжительность пастеризации составляет около 60 мин). Чтобы обеспечить требуемую температуру пастеризации около 62 °С, температура нагревающей среды должна быть около 67 °С. Повышенная температура бутылок на выходе выгодна для их последующего этикетирования. Нагревание и охлаждение бутылок происходит в теплообменнике. Для бутылок объемом 0,33 л расход теплоты составляет 36 000 кДж (8500 ккал)/гл пива, воды — 1,5 гл, а энергопотребление 0,4 кВт.

Допустимые нормы на бой бутылок составляют: для бутылок 0,33 л — около 0,2 %, для бутылок 0,5 л — 0,3-0,4 %. Помимо потерь пива и бутылок, бой стекла загрязняет ванны и забивает форсунки. Для снижения боя к дезинфицирующим средствам добавляют четвертичные аммонийные соединения в концентрации 0,2-0,3 %. Жесткая вода приводит к осадению на бутылках различных соединений, портящих их внешний вид, и во избежание этого для стабилизации ионов воды добавляют полифосфаты.

Эффективность пастеризации обеспечивается автоматическим регулированием и контролем температуры. Контроль температуры и продолжительности пастеризации осуществляется пищущим термометром, измеряющим температуру внутри бутылки, много раз в день пропускаемой через пастеризатор. Для пива, подлежащего транспортировке через океан, вполне достаточно пастеризация

в течение 20 мин при 62 °С. Более высоким температурам пастеризации (70-75 °С) в течение такого же времени подвергают лишь малосброженное солодовое пиво. Баночное пиво пастеризуют несколько иначе: банки перемещаются вдоль пастеризатора верхним днищем вниз, что позволяет быстро проверить герметичности укупорки при последующем взвешивании. Банки малочувствительны к быстрому нагреву и охлаждению, однако и здесь не следует забывать о правильном регулировании температуры пастеризации.

Пастеризационные камеры применяют при небольших мощностях линии розлива. Пастеризация пива в этом случае происходит в плотно закрытой камере, куда бутылки поступают на транспортной тележке. Вместимость одной камеры составляет от 600 до 800 бут., что соответствует производительности примерно 450-700 бут./ч. Нагревание бутылок происходит либо водно-паровой смесью, либо орошением горячей водой, либо горячим воздухом. Располагают пастеризационные камеры так, чтобы иметь возможность регенерировать теплоту. Использование горячего воздуха для нагревания бутылок имеет то преимущество, что пастеризовать можно бутылки с уже наклеенной этикеткой. Для достижения хорошей теплопередачи воздух должен быть увлажненным. Равномерный прогрев бутылки обеспечивается соответствующим подводом воздуха. Расход теплоты в камере с горячим воздухом составляет 33-36 тыс. кДж (8000-9000 ккал)/гЛ, то есть меньше, чем в камере с орошением горячей водой, где требуется 50-62 тыс. кДж (12-16 тыс. ккал)/гЛ.

5.4.2.2. Горячий розлив. Розлив нагретого в пастеризаторе до 68-75 °С пива (верхний предел температуры — для солодового

и диетического сортов) проводят на установке розлива под высоким давлением в только что вымытые (при температуре ополаскивания около 40 °С) теплые бутылки. При этом горячее пиво обеспоживает трубопровод, установку розлива и бутылки. Температура на разных установках составляет: в кольцеобразном резервуаре — 72 °С, в бутылке — 68-70 °С, в укупорочной машине — 62-65 °С, в упаковочной машине — 50-55 °С. Давление при розливе должно превышать давление насыщения CO_2 пива и в зависимости от содержания CO_2 составляет 7-9 бар, причем бутылки должны укупориваться под избыточным давлением в 4-5 бар. Более того, при таком розливе могут применяться лишь клапаны без наливной трубки, так как последняя при опускании бутылки может стать причиной фонтанирования пива. При розливе «черного» пива необходимо особое продолжительное снижение давления, помогающее предотвратить такое фонтанирование. Выделение CO_2 начинается только при поступлении в установку розлива слишком холодных или недостаточно тщательно вымытых бутылок, а также в том случае, когда внутренняя поверхность стекла шероховатая. Так как пиво при охлаждении сжимается, а бутылки должны заполняться до определенной метки, имеющееся пустое пространство при сжатии заполняется преимущественно CO_2 из пива. При этом содержание воздуха в пространстве горлышка бутылки очень невелико. Во избежание при наливке горячего пива поглощения кислорода бутылки следует подвергать предварительному вакуумированию и создавать противодавление CO_2 , иначе повышенное давление розлива повысит температуру пива и, как следствие, сильное поглощение кислорода. Бой бутылок при

горячем розливе довольно велик, но так как бутылки разрушаются преимущественно уже при создании противодавления, потери в пиве относительно незначительны. Стойкость установки розлива относительно боя повышают защитные камеры между отдельными наливными устройствами (по нормативным актам они предписаны, начиная с давления розлива выше 3 бар). Горячие бутылки, наполненные пивом, легко этикетировать, а охлаждают их в складском помещении. Потери теплоты, тем самым, оказываются выше, чем при работе с туннельным пастеризатором — около 42000 кДж (10000 ккал)/гл. Основными преимуществами горячего розлива являются более высокая биологическая стойкость пива по сравнению кратковременной температурной обработкой, а также экономия места по сравнению с туннельным пастеризатором.

5.5. Цех розлива в бутылки

Цех розлива в бутылки состоит из помещения для розлива, участка штабелирования пустых и полных бутылок, а также нескольких вспомогательных помещений. Все помещения связаны между собой системами транспортирования.

бутылкомоечная машина, установка розлива, укупорочная машина, этикетировочный автомат и, при необходимости, пастеризатор. Операция инспекции бутылок механизирована и автоматизирована. Распаковывающее и упаковывающее оборудование размещают либо на участке розлива, либо на участке штабелирования. Между участком розлива и штабелирования обязательно находится установка для мойки пластмассовых

ящиков. При использовании бутылок разного вида необходимо иметь также машину для сортировки бутылок. Кроме того, требуется установка для удаления пробок.

Участок штабелирования целесообразно использовать для приемки пустых и полных бутылок, что позволяет экономить пространство. Это очень удобно особенно в периоды интенсивного производства и в «спокойное» время. Размеры отдельных помещений для готовой продукции и пустой тары должен соответствовать объему продукции, выпускаемой в течение двух рабочих дней. На участке штабелирования должен иметься паллетизатор (машина для укладки груза на паллеты и разгрузки их) и достаточно место для складирования пустых паллет (поддонов). При использовании одноразовых стеклянных бутылок необходима специальная машина-упаковщик для упаковки бутылок в «тройки» и «шестерки», что позволяет снизить трудоемкость этой операции. Во вспомогательных помещениях размещают мастерские, участок хранения этикеток, картонных коробок и иных материалов, а склад химикатов (щелочей, кислот, моющих и дезинфицирующих средств).

Связь между отдельными участками осуществляется различными транспортными установками. Для горизонтальной транспортировки ящиков с бутылками служат цепные и ленточные транспортеры, а перемещение между этажами осуществляется с помощью наклонных или вертикальных подъемников. Отдельные бутылки в горизонтальном направлении транспортируют с помощью транспортера, а через этажи — наклонного подъемника. Для компенсации возможных сбоев в потоке бутылок между отдельными установками розлива целесообразно

располагать накопительные бункеры для бутылок с амортизаторами.

Для обеспечения высокого КПД установки розлива производительность работы отдельных машин должна быть скоординирована. Приняв номинальную производительность установки розлива за 100%, производительность отдельных аппаратов должна быть (по Бергу):

Приемщик пустой тары	130%
Разгрузчик паллет	125%
Распаковщик	120%
Бутылкомоечная машина	110%
Инспектор бутылок	
Машина для розлива и упаковки	100%
Этикетировочная машина	110%
Упаковщик	120%
Укладчик на паллеты	125%
Приемщик готовой продукции	130%

Шум, неизбежно возникающий в местах скопления бутылок, снижается с помощью специального покрытия. Общий шум от работающих машин должен ослабляться конструкцией стен и перекрытий,

а также с помощью специальных шумопоглощающих приспособлений.

Штабелирование стандартных ящиков размером 300 x 400 мм на паллетте (поддоне) размером 800 x 1200 мм осуществляют рядами по 8 ящиков, что при штабелировании в пять рядов дает 40 ящиков на поддоне (один ящик — это 20 поллитровых бутылок или 24 бутылки по 0,33 л). При штабелировании ящиков в три ряда необходима высота помещения для штабелирования не менее 5 м. В качестве паллетизатора используют вилочный погрузчик (подъемной силой до 1,5 т) с электро- или гидравлическим приводом, а если укладка на паллеты производится на открытом воздухе, то с дизельным. Вертикальное перемещение осуществляется автоматически с помощью управляемого подъемника. Место погрузки паллет и поддонов в грузовой автотранспорт отделяется от участка хранения готовой продукции расположенным на этом же уровне складом поддонов (при погрузке с помощью транспортеров можно использовать специальную рампу).

6. Потери сусла и пива

Потери сусла и пива дают представление об общих потерях на стадиях от перекачки сусла в суслотарочный котел до выхода готового пива. Общие потери являются важной составной частью производственных расчетов, основанных на выходе готовой продукции (сколько было произведено пива из данного количества солода).

Если полученный экстракт отражает *выход экстракта в варочном цехе*, то *общие потери* отражают потери сусла и пива, выражаемые в объемных показателях, начиная от количества горячего охмеленного сусла (гл) до количества готового пива (гл) без учета содержащегося экстракта.

Чтобы вычислить истинные потери, необходимо в рамках производственного контроля ежемесячно регистрировать потери экстракта.

Общие потери меняются в широких границах и зависят от используемого оборудования и от объемов производства, составляя от 8 до 24 %. Таким образом, из 1 гл охмеленного сусла получают 76-92 л готового пива. Общие потери зависят также от способа охлаждения

сусла (с помощью холодильной тарелки и орошения с помощью охладителя или «закрытой» системы). При производстве пива с применением холодильной тарелки потери составляют, как правило, 12-20 %, тогда как с использованием «закрытого» охлаждения — 8-12 %. На небольших предприятиях потери больше, чем на крупных, что обусловлено большими потерями вследствие остатков продукта на трубах, чанах и т. д., небольшими возможностями регенерации остаточного пива и т. д., однако эта разница может быть несколько сглажена путем оптимизации производственных процессов.

Определить отдельные факторы потерь довольно трудоемко и сложно, так как их очень много, а текущие объемы и состав сусла и пива меняются. Кроме того, точно определять количество пива и содержания в нем экстракта в процессе производства очень накладно. Для этого необходимы расходомер, прошедший поверку, и автоматический пробоотборник. Как мы уже отмечали, традиционно общие потери основаны лишь на объеме без учета содержания экстракта, и поэтому

этот показатель применим для сравнения работы разных предприятий лишь условно. Тем не менее он дает примерное понимание экономичности технологических режимов, так как является основой для расчета строго контролируемого количества пива, являющегося основой для налогообложения. *Расчет общих потерь* в процентах дает данные о потерях, начиная с объема охмеленного сусла до объема разлитого пива, при помощи формул *потерь экстракта*, по которым можно сравнить количество экстракта горячего охмеленного и холодного начального сусла с одной стороны, и количество экстракта в товарном пиве, с другой. *Потери экстракта солода считаются иначе.*

$$\text{Общие потери, \%} = \frac{\left(\begin{array}{cc} \text{Количество готового сусла} & - & \text{Количество готового пива} \end{array} \right) \times 100}{\text{Количество готового сусла}};$$

$$\text{Потери экстракта, \%} = \frac{\left(\begin{array}{cc} \text{Количество экстракта в охмеленном сусле} & - & \text{Количество экстракта в товарном пиве} \end{array} \right) \times 100}{\text{Количество экстракта в охмеленном сусле}};$$

$$\text{Общие потери экстракта, \%} = \frac{\left(\begin{array}{cc} \text{Количество экстракта в засыпи солода} & - & \text{Количество экстракта в товарном пиве} \end{array} \right) \times 100}{\text{Количество экстракта в засыпи солода}}.$$

6.1. Деление общих потерь

Общие потери можно разделить на:

- общие потери сусла, включающие потери от горячего охмеленного сусла до брадильного цеха;

- общие потери пива, включающие потери от начального сусла до готового пива.

6.1.1. Потери сусла

Анализ потерь сусла позволяет разделить их причины: уменьшение объема сусла и вытеснение из-за охмеления, а также потери из-за испарения, хмеля, мути и остатков жидкости на стенках танков и трубопроводов.

6.1.1.1. Уменьшение объема сусла и вытеснение из-за охмеления. Уменьшение объема сусла происходит из-за его охлаждения с температуры кипения до заданной температуры внесения дрожжей в зависимости от температуры цеха. Это уменьшение объема (около 3,8 %) представляет собой исключительно «объемные» потери, избежать которых невозможно. Вытеснение сусла из-за охмеления зависит от количества и вида вносимых хмелепродуктов (1 кг шишкового хмеля вытесняет около 0,8 л сусла, а 1 кг гранулированного хмелевого препарата — лишь 0,3-0,4 л). При использовании экстракта хмеля вытеснения не происходит. Вытеснение из-за охмеления представляет собой лишь потери в объеме, а не потери экстракта.

6.1.1.2. Потери из-за испарения возникают в основном на холодильной тарелке и влекут за собой уменьшение объема. В зависимости от площади холодильной тарелки, высоты уровня сусла, атмосферных условий, способа аэрации холодильной тарелки и длительности пребывания жидкости на ней количество испаряемой влаги составляет 4-9 %. Если потери очень незначительны, то причиной этого мог стать использовавшийся

для опорожнения трубопровод или для промывки хмеля расходовалось слишком много воды. После того как концентрация сусла в результате испарения повысилась на 0,4-1,0 %, при помощи этого значения можно рассчитать количество испарившейся влаги, однако при этом необходимо учитывать коэффициент контракции и хмелевого вытеснения, равный 96 (см. нижеприведенную формулу).

$$\text{Потери при испарении, \%} = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{Количество экстракта в начальном сусле} \\ - \\ \text{Количество экстракта в охмеленном сусле} \end{array} \right) \times 96}{\text{Количество экстракта в начальном сусле}}$$

Испарение сусла происходит и при его оттоке через оросительный охладитель, причём тем больше, чем выше температура сусла до охладителя и чем продолжительнее процесс охлаждения. В танке для охлаждения пивного сусла или в вихре замечательных потерь при испарении не возникает, а при наличии вытяжки потери не превышают 0,5-1,5 %. В результате дополнительного давления воды и выщелачивания хмелевой дробины в закрытой охлаждающей системе потери экстракта составляют 0,1-0,2 %.

6.1.1.3. Потери вследствие внесения хмеля. В среднем 1 кг шишкового хмеля впитывает 5 л сусла. Это количество включает в себя не только «объемные» потери, но и потери экстракта. Количество подобных потерь зависит от количества вносимых хмелепродуктов, концентрации сусла и обработки охмеленного сусла после перекачивания. При внесении хмелепродуктов в количестве 200 г/гл потери составляют около 1 %. Потери

могут быть снижены в результате отпрессовывания хмелевой дробины (на 2,8 л/кг хмеля), промывки горячей водой (на 1,8 л/кг) (это дает 0,4 %), а также благодаря сочетанию выщелачивания и прессования (на 0,8 л/кг). Примерное представление об успехе этого мероприятия дает концентрация хмеля в промывной воде, составляющая для лагерного пива 3-4 % масс. Количество промывной воды рассчитывается исходя из закона ФРГ о налогообложении пивоварения - 1,5% на перекачанное количество готового пива. При производстве крепкого пива или пива типа *Pilsener* эту величину можно рассчитать приблизительно. В данном случае необходима специальное оборудование для промывки (порционная подача воды и стекание самотёком). При использовании порошкообразных хмелевых препаратов потери возрастают из-за потерь с хмелевой дробинкой и осадком взвесей горячего или охлажденного сусла.

6.1.1.4. Потери в виде осадка взвесей. Потери по объему π экстракту обусловлены осадком взвесей горячего сусла, содержащемся в охмеленном сусле, и остатком сусла в этом осадке. Иногда еще используемый на небольших пивоварнях «мешок» для осадка является причиной потерь сусла в размере 4-5 л/100 кг запыли, что дает 0,7 % потерь. Отпрессованный осадок (в зависимости от используемого давления) дает потери в размере 1,5-3,0 л/100 кг солода, то есть 0,25-0,50 % потерь, а при дополнительном выщелачивании осадка 0,1-0,13%. Аналогичные показатели получают при использовании центрифуги. Потери при использовании автоматически разгружаемой центрифуги в зависимости от установленной продолжительности выгрузки

шлама (например, при частичной его выгрузке) составляют 0,3-0,4 %. Потери экстракта в вихре при оптимальном ходе процесса составляют 0,25-0,6 %, а при преждевременном перекрывании потока сусла они возрастают до 1,5 %.

В целом потери сусла с побочными отходами порошкообразных хмелевых препаратов и осадком составляют при 130 г хмелевой дробины/г/л 2,0 %, а при 65 г/г/л — 1,2 %, тогда как использование исключительно хмелевого экстракта дает лишь 0,6 % потерь.

Потери при осветлении горячего сусла, при гомогенной загрузке и автоматической выгрузке по сигналу датчика о состоянии камеры со шламом составляют при 130 г порошкообразного хмелевого продукт/г/л около 0,9 %. В результате сепарирования смеси хмеля и осадка (см. раздел 2.7.7.1) потери можно снизить примерно до 0,6 %. Для разделения можно использовать и декантатор. В варочном цехе возможно повторное извлечение экстракта из хмелевого осадка (например, при осветлении).

Автоматически разгружаемые центрифуги для горячего сусла дают потери, составляющие 60-80 % потерь в вихре. Повторно использовать извлеченный экстракт рекомендуется для следующей варки. Декантатор используют также для извлечения экстракта из осадка в вихре. При удалении осадка охлажденного сусла методом холодной седиментации или флотации потери составляют 0,2-0,4 %.

6.1.1.5. Потери жидкости, остающейся на стенках танков или трубопроводов. Эти потери в объеме и экстракте можно поддерживать на довольно низком уровне (0,1-0,2 %) благодаря тщательной дополнительной промывке. К таким потерям относят также потери, обусловленные

негерметичностью резервуаров (утечки), брызгами сусла или протеканием кранов.

6.1.1.6. Выход молодого пива при его сравнении с выходом экстракта пива в варочном цехе позволяет получить данные о потерях (по объему и экстракту) в промежутке от варочного до бродильного цеха. При контроле потерь сусла эти данные следует регулярно оценивать. Для их определения и для точного установления содержания экстракта необходим калиброванный чан для внесения дрожжей или чувствительный измерительный прибор, а также корректно работающий в потоке пробоотборник. Вносимое количество дрожжей следует вычсть, и выход молодого пива рассчитывается по нижеприведенной формуле:

$$\text{Выход молодого пива, \%} = \frac{\text{Количество сусла в бродильном цехе, г/л} \times \text{Экстрактивность, \% об.}}{\text{Засыпь, нем. ц.}}$$

Поскольку количество холодного сусла определяется без хмеля, коэффициент 0,96 исключается, а показания сахарометра необходимо пересчитать на объемные проценты. Можно также пересчитать количество сусла с начальной температуры на 20 °С (см. раздел 2.8.2). Выход молодого пива примерно на 1-3 % меньше выхода экстракта пива в варочном цехе, и превышение этого значения свидетельствует об увеличении потерь при выщелачивании хмелевой дробины, при получении первого сусла или из-за потерь в танках и трубопроводах.

6.1.2. Потери пива

Общие потери пива складываются из потерь в цехе брожения, на участке дображивания, при фильтровании и розливе.

При нормальном протекании процессов потери пиве составляют от 3 до 5 %.

6.1.2.1. Потери в цехе брожения вызываются дрожжами, а также остатками пива (включая неполный выпуск жидкости из танков). Прежние потери пива с деккой при брожении в чанах в настоящее время большой роли не играют. Потери, вызванные дрожжами, представляют собой прежде всего поглощение ими питательных веществ, то есть происходят при размножении дрожжей. При нормальном размножении дрожжей (от 0,7 до 2,5 л/гл) потери объема пива составляют 1,8 %, а при 10 %-ном содержании СВ дрожжей они могут снижаться до 1,6 %. Таких потерь не происходит, если дрожжи к концу брожения переносят из танка в танк или если после съема они хранятся с пивом с добавлением травяного настоя. В общем случае потери возникают тогда, когда повторно дрожжи не используют, и в этом случае целесообразно получать молодое пиво при помощи седиментации, камерного пресса, декантатора, центрифуги или методом тангенциально-поточного фильтрования.

Дрожжи необходимо хранить в резервуаре с охлаждением и перемешиванием, иначе в результате выделения ими основных аминокислот, фосфатов, а также нуклеотидов происходит повышение значения рН на 5 ед., что в определенных обстоятельствах приводит к образованию дрожжевого осадка с выделившимися продуктами жизнедеятельности дрожжей и их протеазами, среднемолекулярными жирными кислотами, эфирами и вновь выделившимися горькими веществами.

Благодаря прессованию дрожжей содержание СВ может увеличиваться на 25 %, а с применением декантатора,

центрифуги и тангенциально-поточного фильтрования — на 20 %. При центрифугировании молодого пива содержание СВ в зависимости от типа центрифуги составляет 18-28 %.

Наиболее оптимальными вариантами являются фильтрование молодого пива, его стерилизация методом кратковременной температурной обработки и добавление к суслу в начале брожения (после микробиологического контроля). Размножающиеся дрожжи усваивают выделившиеся продукты метаболизма, вследствие чего процесс брожения ускоряется. Благодаря тангенциально-поточному фильтрованию мембранами с размером пор 0,2 мкм удаляется около 25 % горьких веществ и нуклеотидов, около 50 % полифенолов, высокомолекулярных азотистых соединений и среднемолекулярных жирных кислот, в результате чего улучшается вкус пива. (Об обработке пивных остатков см. раздел 6.2.5.)

Потери пива из-за его остатков на стенках танков и трубопроводов (0,2-0,4 %) существенно зависят от размеров танков брожения. Потери в небольших чанах с незначительным наклоном днища и неровным дном больше, чем в крупных правильно смонтированных танках. Учитываются также потери пива из-за образования чрезмерных завитков и т. д.

6.1.2.2. Потери в отделении дображивания в основном представляют собой осадок на дне танка. Помимо дрожжей, в осадке содержатся белковые дубильные вещества и хмелевые смолы. Над осевшим дрожжевым осадком в танке находится слой пива, которое извлекают путем процеживания. Количество дрожжевого осадка составляет 0,3-0,4 л/гл пива. Извлечение пива посредством отпрессовывания, центрифугирования или фильтрования

целесообразно только при кашеобразном состоянии осевших дрожжей, причем во избежание сбоев при фильтровании в этом случае необходимо контролировать содержание вязких субстанций (β -глюкана, маннана дрожжей, различных декстринов). При использовании ЦКТ возможно выделение из пива определенного количества дрожжевого осадка, образующегося при созревании, а также избыточных дрожжей. Небольшое количество дрожжевого осадка, отделенного в последующих фазах, лучше в дальнейшем не использовать, а передать на корм скоту.

Отстоявшееся пиво, как и остаточное, необходимо подвергать обработке. Щепка для осветления пива, применяемая в различных ситуациях, не препятствует извлечению отстоявшегося пива и является причиной небольших дополнительных потерь. Данные по потерям пива в традиционных танках дображивания и созревания получить достаточно сложно.

6.1.2.3. Потери при фильтровании обусловлены головным и хвостовым фильтрационными остатками, которые используются на производстве лишь при содержании СВ начального сусла 5-6 % (в этом случае их вводят в фильтруемый поток пива). Избежать излишних потерь помогает точный расчет количества экстракта по формулам или его эмпирическое определение. Максимальная доля потерь (около 1 %) приходится на двойное фильтрование на масс-фильтре; потери на кизельгуровом фильтре составляют 0,3-0,4 %, на дисковом фильтре — 0,3-0,5 % и лишь 0,2 % — при центрифугировании. Кизельгуровые фильтры более старой конструкции с коническим днищем и вертикальными ситами характеризуются более высокими показателями

потерь. При работе горизонтальных фильтров фильтрационные остатки практически отсутствуют, так как вода и CO_2 вытесняют предварительно намывтый слой, и фильтр к концу фильтрования опорожняется путем продувки CO_2 . В кизельгуровом осадке остается еще 0,4 % «нормального пива» (содержание этилового спирта — около 3,5 %), которое можно извлечь путем опорожнения под давлением воды. Все виды фильтров подверглись в последнее время технической модернизации в целях свести к минимуму количество фильтрационных остатков — например, стали возможными намывка фильтра отфильтрованным пивом или пуск дискового фильтра под противодавлением CO_2 .

При наличии головного и хвостового фильтрационных остатков проявляются незначительные *потери экстракта*, однако *потерь в объеме* не возникает. При введении воды в зависимости от типа фильтра и способа фильтрования процент потерь возрастает на 0,8-1 %.

6.1.2.4. Потери при розливе на современных установках розлива невелики и составляют обычно 0,5-1 %. Более высокие потери возникают из-за небрежного отношения к оборудованию, из-за слишком низкого противодавления, приводящего к фонтанированию пива, а в *установке розлива в бутылки* — из-за неправильной регулировки выпускной звездочки. Кроме того, потери могут возрастать в результате неправильной ориентации кроненпробок, из-за поврежденных упаковывающих устройств или из-за боя бутылок на транспортере или на вилочном автопогрузчике. Причиной потерь могут являться также *допуски калибрования (тарирования) бочек, кегов и бутылок*. В ходе розлива в кеги происходит некоторое

увеличение объема пива (перерасход менее 0,5 %). При розливе по объему такие потери полностью исключены. Алюминиевые бочки со временем немного увеличиваются в объеме в ходе эксплуатации, и из-за увеличения объема пива, приходящегося на 1 бочку (в среднем 0,2-0,7 л), возникают дополнительные потери. Кроме того, при розливе в бутылки может иметь место избыточный налив — например, если в бутылке объемом 0,5 л такой «перелив» составляет всего лишь 5 мл, это дает 1 % потерь от объема бутылки.

Для минимизации содержания кислорода в пространстве горлышка бутылки создается сильное пенообразование. При этом количество наливаемого пива не снижается, что приводит к избыточному наливу — 0,5-0,7 % для бутылок объемом 0,5 или 0,33 л. Бой полных бутылок дает около 0,2 % потерь. Данные о потерях в процессе розлива следует ежедневно анализировать путем сравнения количества пива в танке и количества товарного пива.

6.1.2.5. Потери в процессе пастеризации и при горячем розливе образуются вследствие низкого качества бутылок, слишком быстрого их нагревания и охлаждения, а также из-за ограниченного пустого пространства в бутылке по отношению к содержанию CO₂ в пиве. Потери, вызванные боем полных бутылок в пастеризаторе, составляют 0,2-1,0 %.

Потери при горячем розливе несколько меньше (0,2-0,8 %), так как большая часть дефектных бутылок бьется в установке розлива еще при создании противодавления. Потери пива происходят лишь в том случае, если при горячем розливе бутылки были недостаточно нагреты или если загрязнения или ше-

роховатость внутренней поверхности бутылок стали причиной фонтанирования пива.

6.2. Оценка потерь

Процент потерь в ходе производства пива может быть определен в любое время, но, как правило, итоги подводят на конец календарного месяца (из-за возможности анализа стабильности производства, а также количества произведенного и реализованного пива). Данные о количестве горячего охмеленного сусла берут из журнала варок, позволяющего отслеживать все характерные особенности каждой партии пива (количество, содержание этилового спирта и т. п.) и обязательного для всех пивоваренных предприятиях Германии и Австрии, а сведения о количестве реализованного (готового) пива — из журнала экспедиции. Для снижения потерь, возникающих до реализации пива, необходимо учитывать количество пива в цехе брожения и в отделении дображивания. В производственные показатели включается пиво, в производстве которого использовался жмых, «бесплатное» пиво (обычно так называют в прямом смысле бесплатное пиво, например, отпускаемое по принципу «заведение угощает» или когда в зависимости от размера закупки клиент получает некоторое количество пива бесплатно), пиво, забракованное торговой сетью, а также качественное пиво, возвращаемое на дображивание.

6.2.1. Расчет потерь по жидкой фазе

Расчет потерь по жидкой фазе производят по следующему примеру:

	Было	Остаток	Итого
1. Количество пива на конец месяца, гл:			
Количество в цехе брожения	7511		
потери (-4 %)	300	7211	
Количество в отделении дображивания	34 798		
потери (-2 %)	696	34102	
Количество готового пива		1147	42 460
2. Реализованное пиво:			
Данные по учету реализованного пива		24 764	
Пиво, произведенное из выжимок			412
«Бесплатное» пиво		19	
Возврат забракованного пива		8	25 203
Сумма I			67 663
3. Количество пива на начало месяца:			
Количество в цехе брожения	6393		
потери (-4 %)	256	6137	
Количество в отделении дображивания	32 561		
потери (-2 %)	651	31 910	
Количество готового пива		998	39 045
Сумма II			39 045
4. Выработанное количество сусла, гл:			31 197
Количество готового пива (сумма I - сумма II)		28 618	
Минус возвратное пиво, пригодное для использования		24	28 594
Разность			2603
Итого потери:	$\frac{2603 \times 100}{31\ 197} = 8,3\%$		

6.2.2. Перерасчет потерь

При производственных расчетах учитываются, как правило, потери, согласованные с органами налогообложения. Выработанное количество горячего сусла пересчитывают на соответствующее количество реализованного пива.

В данном случае фактические потери несколько меньше, чем согласованные с финансовыми органами. В противном случае получается отрицательная разность, и потери могут быть выше, чем согласованные.

1. Количество пива на конец месяца:			42 460 гл
2. Проданного (реализованного) пива:			25 203 гл
Сумма I:			67 663 гл
3. Количество пива на начало месяца:			
4. Выработка готового пива:			
Горячее охмеленное сусло:	31 197 гл		
потери (-9%)	2708 гл	28 489 гл	
Пиво, пригодное для повторного использования:		24 гл	28 513 гл
Сумма II:			67 558 гл
Разность суммы I и суммы II:			105 гл

6.2.3. Расчет выработанного сусла и пива на 100 кг солода

Для данного расчета необходимо знать количество солода, израсходованного в соответствующий момент времени, количество кипяченого сусла, полученного из этого солода в сушварочном котле, а также количество готового пива, произведенного из этого сусла. Показатели рассчитывают по вышеприведенному примеру и следующей таблице.

1. Количество кипяченого сусла, полученное из 100 кг солода (концентрация сусла — 12,6 %):

$$\frac{\text{Общее количество сусла, гл}}{\text{Общее количество засыпи, нем. ц.}} = \frac{31\ 197}{5200} = 6,00 \text{ гл.}$$

2. Выход готового пива из 100 кг солода:

$$\frac{\text{Общее количество пива с учетом потерь, гл}}{\text{Общее количество засыпи, нем. ц.}} = \frac{28\ 594}{5200} = 5,5 \text{ гл.}$$

По этим двум показателям рассчитывают общепроизводственные потери:

$$100 - \frac{\text{Общее количество готового пива из 100 кг солода} \times 100}{\text{Количество кипящего сусла из 100 кг солода}} =$$

$$= 100 - \frac{5,5 \times 100}{6,0} = 8,3 \text{ \%}$$

Количество пива, произведенного из 100 кг солода, может быть разным и зависит от крепости пива, от выхода экстракта в варочном цехе, от режимов работы и оборудования предприятия. В общем

случае из 100 кг солода может быть получено 6 гл сусла или 5,5 гл 12,5 %-ного пива. Приняв за основу общие потери солода, равные 20 %, из 100 кг ячменя вырабатывают примерно 4,8 гл сусла и 4,4 гл пива.

6.2.4. Расчет потерь по экстракту горячего охмеленного сусла и засыпи солода

Чтобы произвести данный расчет потерь, помимо количества сусла и пива необходимо также учитывать содержание экстракта и массовую долю СВ начального сусла. Эти данные определяют в анализируемый промежуток времени (как правило, месяц) для каждой варки и каждой партии готового пива (текущий лабораторный контроль). На основе вышеприведенного примера расчет проводится следующим образом:

Количество перекачанного сусла:	31 197 гл (12,6%-ного (13,24 % об./масс.))	= 396 526,3 кг экстракта горячего сусла
---------------------------------	---	---

Общее количество пива:	28 594 гл (12,5%-го (13,13% об./масс.))	= 375 439,2 кг экстракта
------------------------	--	--------------------------

Потери:	21 087,1 кг экстракта
---------	-----------------------

Потери экстракта	5,3%
------------------	------

Количество экстракта солода из 5200 нем. ц.	402 480,0 кг
---	--------------

Общее количество пива	28594 гл (12,5%-го (13,13% об/масс.))	375 439,2 кг экстракта
-----------------------	--	------------------------

Потери	27 040,8 кг
--------	-------------

Потери экстракта	6,7%
------------------	------

6.2.5. Использование остаточного и некондиционного пива

6.2.5.1. Остатки экстракта сусла, например, хмелевая взвесь из вирпула после ее центрифугирования или декантации, могут вноситься в ту же самую варку (см. раздел 2.7.7.1). Как правило, выбирается наиболее простой способ — внесение остатков в отфильтрованное сусло (в фильтр-чане после оттока первого сусла и на майш-фильтре при окончательном затирании сусла). В фильтр-чане при введении, например, 1,5% экстракта повторно используется лишь 75 % остатков, а при 0,5 % — все 100 %.

Взвесь (муть), образовавшаяся в результате холодной седиментации (без дрожжей), используют, как описано выше. Возникающая в результате флотации дрожжевая взвесь (дрожжи + муть) ни в коем случае не должна попасть в горячее сусло. В данном случае необходимо перекачать стекающее сусло в сборный резервуар, который должен быть настолько большим, чтобы он вмещал остатки осадка взвесей охлажденного сусла за неделю производства. В результате присутствия жирных кислот в осадке взвесей охлажденного сусла очень быстро происходит его сбразивание. Дрожжи с осевшей взвесью перерабатываются с избыточными дрожжами. В целях дальнейшей переработки перебродившее пиво смешивают с остаточным пивом.

6.2.5.2. Молодое пиво («дрожжи-пиво»). Как мы уже отмечали, маточные дрожжи сразу же должны перерабатываться (с добавлением травяного настоя трав, так как их нельзя вновь вводить в сусло). Хранение должно быть «холодным», то

есть в прохладном помещении в охлаждаемом резервуаре при температуре ниже 4 °С. В зависимости от консистенции дрожжей на седиментацию уходит 2-4 сут. При этом, несмотря на «холодное» хранение, пиво портится в результате повышения значения рН и выделения продуктов метаболизма дрожжей (см. раздел 6.1.2.1). После седиментации пиво сливают, фильтруют активированным углем (50 г/гл), подвергают кратковременной температурной обработке (60 с., 85 °С) и вводят в него дрожжи, либо смешивают с другими партиями остаточного пива.

Молодое пиво из фильтр-пресса, декантатора или центрифуги не требует при быстрой переработке добавления активированного угля, хотя его применение и возможно. Некондиционное пиво после тангенциально-поточного фильтрования (см. раздел 4.4) может вводиться в качественное пиво перед фильтром в количестве не более 5 % (фактический выход составляет около 1 %). Молодое пиво следует подвергать органолептической и аналитической оценке, а также постоянно контролировать процентную долю дозируемого пива.

6.2.5.3. Отстоявшееся пиво. Как правило, такое пиво получают вместе с молодым пивом. В этом случае очень важен контроль его физико-химических показателей, особенности фильтруемости.

6.2.5.4. Фильтрационные остатки. Переработка головного и хвостового фильтрационных остатков с низким содержанием пива (среднее содержание СВ начального сусла 2,5%) нецелесообразна. Из качественных (резкий вкус со специфическим запахом) и количественных (испарение спирта при кипячении сусла)

соображений не рекомендуется также использовать их в варочном цехе, например, для затирания или промывания солода. Возникновения фильтрационных остатков можно избежать благодаря намывке фильтра отфильтрованным пивом, а также путем смешивания образовавшихся фильтрационных остатков с деаэрированной водой и промывки CO_2 . При этом следует учитывать снижение выхода пива на 0,3 %.

Если вместе с более концентрированными фильтрационными остатками образуются лишь «нормальные» фильтрационные остатки (содержание кислорода $< 0,1$ мг/л), то содержание СВ начального сула изменяется на 0,1-0,15 %. По мере возможности различные фильтрационные остатки должны смешиваться сразу или уже после промывки CO_2 . Нецелесообразно добавлять различные фильтрационные остатки в остаточное пиво или на стадии брожения, поскольку в них очень велико содержание побочных продуктов.

Намывка слоя кизельгура отфильтрованным пивом и опорожнение фильтра путем прокачки CO_2 исключает образование головного фильтрационного остатка, однако при этом не исключается полное отсутствие хвостового фильтрационного остатка, так как необходимо вымывать пиво из кизельгура или фильтрационных слоев.

6.2.5.5. Фильтрационные остатки из трубопроводов, устройств розлива и т. д. собирают в различные резервуары в зависимости от цвета (светлый, темный) и типа пива (верхового или низового брожения). В данном случае речь идет о высококачественном пиве с немного отличающимся (в зависимости от обстоятельств) содержанием СВ начального

сула и цветом. Содержание кислорода должно удовлетворять вышеуказанным нормам (в противном случае необходима промывка CO_2). Такое пиво смешивают с остальным остаточным пивом.

6.2.5.6. Пиво, подвергшееся действию кислорода, например, разбрызгиваемое пиво (отходы при изобарометрическом розливе) при розливе в кеги и бутылки не должно содержать много кислорода, но из-за большой поверхности соприкосновения с газовой средой его физико-химический состав изменяется, и такое пиво требует переработки. То же относится и к пиву, выгружаемому в результате сбоя из линии розлива в бутылки или кеги, а также к пиву «старых» партий, по каким-либо причинам оставленных на складе. Такое пиво закачивают в танк с периодическим внесением активированного угля (10 г/гл), где проводят продувку CO_2 . Активированный уголь обесцвечивает адсорбцию частиц, вызывающих старение пива (см. раздел 7.6.5), и горьких веществ. Вместе с CO_2 удаляются крупные пузырьки воздуха, в результате чего устраняется еще одна причина порчи пива. Такие же операции следует проводить и с качественным, но, возможно, немного просроченным пивом, возвращенным от потребителя.

Такое пиво осветляют раз в неделю к концу рабочей смены на кизельгуровом фильтре. Возможны следующие действия:

- смешивание с отстоявшимся и молодым пивом на стадии развития завитков (до 20 %); иногда пиво направляют на дображивание при температуре от 5 до 0 °С с внесением 10-15 г активированного угля, и после трех недель «обработки» и соответствующего

анализа пиво вводят в общий поток перед кизельгуровым фильтром (активированный уголь применяют для полной «нейтрализации» пива);

- пиво вместе с другими остатками дозируют в поток горячего сусла между вирпулом и пластинчатым охладителем (теплообменником), причем в течение 90 с необходимо поддерживать требуемый температурный режим; при понижении температуры до 85 °С автоматика отключает насос, подающий остаточное пиво, перекрывает примерно на 3 мин расход горячего сусла (стерильного), а затем дозирование продолжается; добавление 3 % такого пива не ухудшает качество продукции, а боль-

ше остаточное пиво вообще не должно образовываться;

- не допускается добавление такого пива в вирпул, так как в некоторых обстоятельствах невозможно гарантировать постоянство температуры, и в результате может произойти ухудшение вкуса (он становится негармоничным, горьким).

Переработка и применение остаточного пива — важнейшая задача с точки зрения экономики (потери экстракта, образование сточных вод) и качества. Результат вышеописанных мероприятий всегда следует проверять методами органолептического анализа и теххимконтроля, обращая внимание на пенообразующие свойства и коллоидную стабильность пива.

7. Готовое пиво

7.1. Состав пива

В пиве с массовой долей СВ начального сусла 12 % содержится 4-4,5 % экстракта, 3,8-4,2 % спирта (4,7-5,2% об.), 0,42-0,55 % CO₂ и 90-92 % воды.

7.1.1. Экстрактивные вещества пива

Содержание экстрактивных веществ в пиве зависит от массовой доли СВ начального сусла и от степени сбраживания. Обычная доля экстракта составляет 3,5-5 %, однако она может быть и несколько выше, в частности, в недостаточно сброженном пиве («диетическом», то есть слабоалкогольном и богатом экстрактивными веществами). В среднем экстрактивные вещества в пиве состоят из 80-85 % углеводов, 4,5-5,2 % белков, 3-5 % глицерина, 3-4 % минеральных веществ, 2-3 % горьких веществ хмеля, дубильных и красящих веществ, 0,7-1 % органических кислот, а также незначительного количества витаминов.

7.1.1.1. Углеводы как основной компонент экстракта состоят на 60-75 % из декстринов, 20-30 % моно-, ди- и трисахаридов, а также 6-8 % пентозанов. В светлом пиве низового брожения содержится 15 % высокомолекулярных декстринов (молекулярная масса более 35), около 40 % среднемолекулярных (молекулярная масса 10-35) и около 38 % олигосахаридов; эти углеводы способны сбраживать сахара, включающие наряду со следами глюкозы и сахарозы около 60 % мальтозы и 40% мальтотриозы. Количество сбраживаемых сахаров зависит от условий брожения. Из пентоз в пиве содержатся арабиноза, ксилоза и рибоза.

7.1.1.2. Содержащиеся в пиве соединения азота играют важную роль в формировании его вкуса, пены и физико-химической стабильности. В 1 л пива из ячменного солода содержится около 700-800 мг азотсодержащих веществ, из которых примерно 20-22 % приходится на высокомолекулярные, 16-18% — на среднемолекулярные, а остальная доля — на

низкомолекулярные соединения. Высокомолекулярные фракции включают в себя 15-25 мг/л коагулируемого азота. Содержание α -аминного азота составляет 80-150 мг/л. Содержание азотсодержащего пролина колеблется от 60 до 100 мг/л. В пиве, изготовленном с применением несоложенного сырья, содержание азотсодержащих соединений пропорционально пониженной доле последнего. Содержание азота в пиве может быть снижено путем применения адсорбента.

К азотистым соединениям также относят биогенные амины, которые в высокой концентрации вместе со спиртом могут вызывать аллергию, головные боли и мигрень. В пиве такие амины присутствуют в количестве 8-30 мг/л, а в инфицированном пиве их содержание гораздо выше (до 150 мг/л). К таким аминам относятся пирролидин, триптамин, 2-фенилэтиламин, путресцин, кадаверин, гистамин, тирамин и спермидин. Высокое содержание биогенных аминов обусловлено обычно тирамином, кадаверином и триптамином. В пшеничном пиве содержание аминов весьма незначительно. Особое внимание уделяется гистамину, содержание которого в 12 %-ном пиве составляет в среднем 0,15-0,20 мг/л.

Амины выделяются из солода, хотя основная их часть образуется в процессе приготовления сула. В ходе биологического подкисления сула увеличения содержания аминов не отмечается. Причиной повышения содержания аминов в пиве являются бактерии, приводящие к порче сула, а также микроорганизмы, вызывающие порчу пива; например, некоторые виды *Lactobacillus* вдвое повышают содержание аминов в пиве.

При своевременном устранении проблемы с образованием нитрозаминов их содержание в пиве составляет менее 0,5 мкг/кг.

Содержание азотсодержащего пурина в нормальном пиве (содержание алкоголя около 3,5 %) составляет 45 мг/кг, а в слабоалкогольном пиве при низкой массовой доле СВ начального сула — лишь 26 мг/кг.

7.1.1.3. Содержание *глицерина* (побочного продукта брожения) в пиве составляет 1200-1600 мг/л.

7.1.1.4. *Минеральные вещества* составляют 3-4 % экстрактивных веществ пива (1,4-1,8 г/л). Из катионов доминирует калий (около 550 мг/л), содержание натрия составляет 40-50 мг/л, кальция (в зависимости от качества воды) — 15-50 мг/л, а магния — чуть менее 100 мг/л. Анионный состав 1 л пива, существенно обусловленный качеством пивоваренной воды и количеством вносимых хмелепродуктов, складывается из 30-250 мг сульфатов, 100-200 мг хлоридов, 20-60 мг силикатов, 370-490 мг фосфатов (органических и неорганических), а также 5-25 мг нитратов. Кроме того, в пиве определяются следы железа (около 0,1 мг/л), меди (около 0,1 мг/л), марганца (0,15 мг/л), цинка (около 0,05 мг/л) и алюминия (около 0,2 мг/л). Предельно допустимые нормы содержания в пиве ртути — 3 мкг/кг, свинца — 0,2 мг/кг и кадмия — 0,03 мг/кг.

Необходимо осознавать, что процесс пивоварения — это своего рода «процесс очищения», при котором в ходе технологических операций следы упомянутых элементов остаются на фильтре, в пивной дробине, во взвеси и в дрожжах. Тем не менее во всем мире к качеству сырья для пивоварения предъявляются высокие требования. Осуществляется жесткий контроль на предмет присутствия в сырье следов средств для борьбы с сельскохозяйственными вредителями,

полициклических ароматических углеводородов, микотоксинов и остатков моющих средств. Присутствие в пиве радионуклидов (йода 131, цезия 134 и 137) определить практически невозможно.

7.1.1.5. Дубильные вещества образуются из солода и хмеля (соответственно две и одна треть). Их содержание в пиве составляет около 150-200 мг/л, причем доля конденсируемых дубильных веществ состоит из антоцианогенов (50-70 мг/л) и катехинов (10-12 мг/л. Содержание таннидов составляет от 10 до 40 мг/л.

7.1.1.6. Содержание горьких веществ в пиве в зависимости от его типа варьирует от 12 до 50 мг/л, включая 0,5-1,5 мг/л неизомеризованных α -кислот, 1-3 мг/л гулупона, а остальное — это изо- α -кислоты.

7.1.1.7. Что касается солей органических кислот, содержание которых может составлять 300-400 мг/л, то чаще всего определяются пируваты (50-70 мг/л), цитраты (170-220 мг/л), малаты (30-110 мг/л), а также D- и L-лактаты (30-100 мг/л).

7.1.1.8. Содержание витаминов в пиве очень невелико и составляет (примерно): витамин В₁ (тиамин) — 30 мкг/л, биотин — 10 мкг/л, рибофлавин — 300 мкг/л, пиридоксин — 600 мкг/л, пантотеновая кислота — 1500 мкг/л, ниацин — 7500 мкг/л.

7.1.2. Летучие соединения

К летучим соединениям наряду с водой, спиртом и его производными относят газы (СО₂), а также воздух (кислород и азот).

7.1.2.1. Основная масса летучих соединений приходится на долю *этилового спирта*. В выброженном пиве его содержание

в массовых процентах (% масс.) составляет около трети массовой доли СВ начального сусла. В слабоалкогольном пиве содержится меньше этилового спирта, а в диетическом пиве несколько больше. Степень сбраживания пива темных сортов меньше, чем у пива светлых сортов, и содержание спирта в темных сортах соответствует нижней границе следующих показателей:

безалкогольное пиво	менее 0,5 об.;
низкокалорийное (слабоалкогольное) пиво	2,5-3% об.;
светлое лагерное, Pilsener и Export	4,7-5,3%;
диетическое	около 4,8 % об.
крепкое пиво	5,9-7,5 % об.

7.1.2.2. Доля побочных продуктов брожения (при низовом брожении) складывается из высших спиртов (60-120 мг/л), летучих органических кислот (например, уксусной — около 120-200 мг/л и муравьиной — 20 мг/л), сложных эфиров (20-50 мг/л) и альдегидов (в частности, ацетальдегида) — около 5-10 мг/л (см. раздел 3.2.6). Общее содержание диацетила (диацетила и 2-ацетолактата) не должно превышать 0,08 мг/л, а содержание ацетоина — не более 3,0 мг/л.

7.1.2.3. Для формирования вкуса, пенообразующей способности и усваиваемости пива большое значение имеет содержание СО₂, составляющее 0,35—0,55 % масс. В бочковом пиве, содержание СО₂ невелико -0,40-0,48 %, тогда как у бутылочного пива оно может составлять 0,48-0,55 %. Для сравнения в «белом» пиве (Вайсбир, *Weissbier*) содержание СО₂ составляет 0,60-1,0 %.

7.1.2.4. Присутствие в пиве воздуха (кислорода) отрицательно сказывается на его

биологической стойкости, физико-химической и вкусовой стабильности. Во избежание ухудшения качества пива общее содержание кислорода в пиве (включая растворенный кислород и кислород воздуха в пространстве горлышка бутылки) не должно превышать 0,35 мг/л, а для пива *Export* — еще ниже (см. раздел 5.3.6.5). При содержании кислорода около 1,0 мг/л начинается быстрая порча пива (см. раздел 7.6.5.3).

7.2. Классификация пива

Пиво подразделяют на типы, виды, классы и сорта.

По типу пиво подразделяют на пиво низового брожения и пиво верхового брожения. Классы пива (по классу налогообложения) зависят от состава пива: «одинарное» пиво (2-5,5% СВ начального сусла), «разливное» пиво (7-8 %), «нормальное» пиво (11-14 %) и «крепкое» пиво (свыше 16 %). Производство «промежуточного» пива, концентрация начального сусла в котором выходила за указанные области, было запрещено. После 01.03.1993, когда в ФРГ с безалкогольного пива налогообложение было снято, а налогообложение пива, зависящее от процентного содержания начального сусла (например, 11-11,99 %), повысилось, понятия о классах, привязанные к старой системе налогообложения, уже не применяются. Тем не менее на этикетке указываются содержание спирта (в % об), а также информация о плотности начального сусла ($\Pi = 11$). Иногда приводят также фактическую массовую долю СВ начального сусла (например 11,8%). Чтобы обеспечить потребителей сортами пива привычной крепости, в новом законе ФРГ о пивоварении для

определенных сортов пива предусмотрена минимальная массовая доля СВ начального сусла, например, для лагерного пива — 10 %, светлого (*Hell*), *Pilsener*, темного — 11 %, *Export* — 12 %, *Maerzen*, *Festbier*— 13%, *Bockbier*— 16%. Относительно диетического пива было принято особое решение, что в нем содержание спирта не должно превышать показатели для нормального светлого или пива *Pilsener* (см. разделы 7.10.1-7.10.2).

Вид пива определяется преимущественно его цветом и особенностями вкуса. Так, необходимо различать светлые (*Pilsener*, *Dortmunder*, *Muenchener*) и темные виды пива (*Muenchner*, *Kulmbacher*), а также пиво, среднее по окраске между темным и светлым (*Wiener*). Эти виды пива получают при использовании пивоваренной воды с особым составом, определенного типа солода, того или иного вида и количества хмеля, способа затирания, а также брожения и дображивания. То же относится и к пиву верхового брожения (см. главу 8).

7.3. Свойства пива

7.3.1. Общие свойства

7.3.1.1. Удельная масса пива составляет 1,01-1,02 г/см³. По сравнению с соответствующим показателем экстракта она несколько меньше из-за наличия в пиве спирта.

7.3.1.2. Вязкость пива составляет 1,5-2,2 мПа·с и зависит прежде всего от степени расщепления α -глюкана (содержания декстринов), содержания высокомолекулярных белковых соединений, а также β -глюкана.

7.3.13. *Поверхностное натяжение* пива (42–48 дин/см) зависит от содержания спирта и содержания горьких веществ хмеля (от массовой доли СВ начального суслу оно не зависит).

7.3.1.4. *Значение рН* нормального пива низового брожения составляет от 4,25 до 4,6. Для формирования приятного вкуса и обеспечения требуемой стойкости пива желательно низкое значение рН (высокое значение рН нежелательно и является следствием определенного состава пивоваренной воды и качества солода). Более того, высокое значение рН свидетельствует о недостаточном брожении, а также об использовании некачественных дрожжей. К снижению значения рН пива приводит подкисление суслу, поступающего на кипячение в сусловарочный котел (такое же действие оказывает использование несоложеного сырья).

7.3.2. Окислительно-восстановительный потенциал

Окислительно-восстановительный потенциал пива (редокс-потенциал, гН, отрицательный логарифм парциального давления водорода) обусловлен наличием в его составе тяжелых субстанций, а также содержанием кислорода. Низкое значение гН влияет на вкусовую, физико-химическую и биологическую стабильность пива. Во время хранения значение гН достигает 8–10, а при розливе из-за поглощения кислорода этот показатель может повышаться до 15–20. От окисления пиво в определенной степени защищают входящие в его состав редуцирующие вещества. В качестве тяжелых субстанций выступают редуктоны и меланоидины, которые благодаря выравниванию

содержания диенолов и diketонов предотвращают повышение или понижение значения гН. Полифенольные и сульфгидрильные соединения азота и горькие вещества хмеля обладают редуцирующими свойствами. Содержание тяжелых субстанций зависит от сорта и происхождения ячменя, а также от степени сушки солода. Достаточно растворенный и сильно высушенный солод благодаря высокому содержанию меланоидинов и полифенолов обладает высокой редуцирующей способностью. Карамельный и кислый солод, а также биологическое подкисление затора повышают окислительно-восстановительный потенциал затора и суслу. Аэрирование при помолке увлажненного солода, при затирании или фильтровании может стать причиной снижения содержания полифенолов (особенно танноидов) и уменьшения индекса полимеризации. Использование медных танков по сравнению со стальными приводит к развитию окисления (то же относится к латунным или бронзовым днищам). В процессе кипячения суслу параллельно с развитием цвета усиливается редуцирующая способность. Поглощение кислорода на линии розлива необходимо снизить по возможности до минимума (см. раздел 5.3.6.5). Ионы тяжелых металлов (Fe_3^+ и Cu_2^+) катализируют перенос кислорода. Оптимизируют гН пива путем ведения аскорбиновой кислоты (витамина С), редуцирующих сахаров или бисульфитов (см. раздел 7.6.4.2), но в ФРГ ее применение запрещено.

7.3.3. Цветность пива

Цветность пива в большой степени определяет его вид (например, «светлое» и «темное» пиво). Очень светлое пиво

Pilsener или южно-немецкие сорта пива характеризуются цветностью в 5,3-7,5 ед. ЕВС, пиво *Dortmunder*, крепкое лагерное и пиво *Export* — 9,5-11 ед. ЕВС, венское (*Wiener*) и пиво *Maerzen* — 18-30, а темное пиво — 45-95 ед. ЕВС.

Окраска пива должна быть чистой и соответствовать данному виду пива. Изменение окраски может быть следствием применения некачественного сырья, не пригодной пивоваренной воды, сбоев в процессе приготовления сусла, недостаточного отделения мути, а также вялого протекания брожения.

Цветность определяется качеством, степенью растворения и сушкой солода. В производстве темного пива для получения желаемого цвета дополнительно используют жженный (около 1 %), а также (иногда) карамельный солод. Целесообразность дополнительной «подкраски» пива в процессе пивоварения зависит от вышеуказанных факторов. Сильно высушенный солод (при температурах 90-100 °С) из-за высокого содержания полифенолов и антоцианов и образовавшихся в результате красящих веществ (первичных и вторичных продуктов реакции Майяра) вызывает более сильное окрашивание пива, чем солод, высушенный при более низких температурах (около 80 °С). Слаборастворенный, осторожно подвяленный и высушенный солод (при температуре 80 °С) привносит в затор незначительно подкрашивающие вещества. Задерживают цветообразование замочная вода, отрицательная остаточная щелочность, кондиционирование солода грубого помола, отделение оболочек, короткий способ затирания, а также жидкое первое сусло. Аэрирование при затирании, фильтровании и кипячении сусла, а также при его длительной обработке горячим воздухом способствует

более сильному окрашиванию фенольными веществами. Чрезмерная тепловая обработка сусла (например, при кипячении или в танке для горячего сусла) способствует дополнительному образованию продуктов реакции Майяра и, тем самым, увеличению цветности (см. раздел 2.7.4.1). В ходе брожения из-за снижения значения рН начинается отчетливое осветление молодого пива, которое в итоге и определяет цветность пива. На процесс осветления влияют также фильтрование или использование высококачественных адсорбентов. Изменение цвета от солода до пива (из расчета 12 %-ного начального сусла) на примере светлого пива идет следующим образом: конгрессное (лабораторное) сусло — 4,2, первое сусло — 5,5, сусло в сусловарочном аппарате (с доливками) — 6,5, горячее охмеленное сусло — 7,5, начальное сусло — 8,3, пиво — 6,0 ед. ЕВС.

При высоком содержании кислорода цветность бутилированного пива может повыситься на 0,5-1 ед. ЕВС с образованием красновато-коричневого оттенка.

7.4. Вкус пива

Вкус должен соответствовать виду пива и как можно дольше оставаться неизменным. О вкусе пива судят по различным вкусовым ощущениям, возникающим при его дегустации. Вкусовые ощущения переходят из одного в другое и быстро теряют свою остроту. В формировании вкуса не последнюю роль играет обоняние. При употреблении пива ощущения можно разделить на три различные стадии — начальную, оценивающую и завершающую, причем общая вкусовая картина этих стадий должна быть сбалансирована. Полнота вкусового ощущения зависит от

температуры пива (чем оно холоднее, тем ниже полнота ощущения), от содержания CO_2 и от личных предпочтений дегустатора.

7.4.1. Вкусовые отличия

7.4.1.1. При употреблении пива благодаря обонянию аромат напитка ощущается уже на первой стадии. Аромат может быть хмелевым (например, у пива *Pilsener* или других видов пива с подчеркнuto хмелевым тоном), а может иметь эфирно-спиртовые ноты. Выразительность последнего зависит от содержания высших спиртов, эфиров и альдегидов. Типичный аромат пива может вызываться солодом, особенно при использовании томленного, жженого или карамельного солода (цветность более 4,5 ед. ЕВС). Характерный аромат темного пива или пива *Maerzen* обусловлен соответствующей долей указанных типов солода в засыпи.

Кроме того, на первой стадии возникает ощущение более или менее выраженной полноты вкуса, которая зависит от массовой доли СВ начального сусла и цветности пива. Полнота вкуса обусловлена, с одной стороны, степенью сладости Сахаров, оставшихся в пиве после брожения, а также декстринами и спиртом, а с другой — количеством и размерами коллоидных частиц. В зависимости от их дисперсности и степени коагуляции или дегидратации интенсивность вкуса будет сильнее и острее (или слабее и мягче). Крупные коллоидные мицеллы могут оказывать отрицательное влияние на вкусовые рецепторы, а также на протекание реакций, участвующих в формировании вкуса. Для определения степени сбалансированности вкуса пива необходимым показателем набухания коллоидов определенной величины, которые скорее

«оседаются» (например, как CO_2), чем ощущаются во вкусе и могут компенсировать возникновение веществ с очень интенсивным вкусом. В зависимости от соотношения этих субстанций (белков, декстринов, гидроколлоидов, дубильных веществ, горьких веществ хмеля и т. д.) в экстракте пива на первой стадии дегустации вкус может ощущаться или гармоничным и ровным, или широким (разнообразной гаммы). Если в пиве слишком мало коллоидов, то оно лишено своего «тела», а вкус его считается «пустым».

Буферные вещества (например, фосфаты), выделяющиеся из солода, благодаря их слабосоленому привкусу придают пиву гармоничность вкуса.

7.4.1.2. Оценка «игристости» пива происходит спустя некоторое время после начала дегустации и зависит от значения рН пива, содержания растворенных буферных веществ и фосфатов, а также от качества солода и состава пивоваренной воды. В формировании гармоничного вкуса большую роль играют коллоиды (в частности, белки). У «пустого» пива вкус все время остается безликим. Непосредственное влияние на вкус пива оказывает также содержание CO_2 — чем оно выше (в пределах 0,38-0,50 %), тем дольше сохраняется вкус пива, однако высокое содержание CO_2 при несбалансированном составе пива (при недостаточном содержании коллоидов и низкой вязкости) может приводить к появлению резкого вкуса.

7.4.1.3. Завершающая стадия оценки вкуса определяется по доминирующей горечи. Иногда пиво изначально обладает горьким привкусом (как правило, это бывает при незначительном внесении горьких веществ хмеля). В данном случае горечь

может многократно усиливаться, что обусловлено наличием горьких и дубильных веществ, белков или дрожжевого осадка. В таком случае вкус пива дополняется горькими веществами хмеля. Кроме того, на третьей стадии вкус пива может характеризоваться кисловатым или даже слегка сладковатым оттенком (в зависимости от доли горьких веществ хмеля по отношению к остаточным коллоидам).

7.4.1.4. Вкус пива считается завершенным, когда отличные друг от друга вкусовые ощущения гармонично переходят от одного к другому. Горечь в зависимости от ее первоначальной интенсивности должна ощущаться некоторое время, не оставляя негармоничного послевкуся.

Зачастую пиво не достигает полной завершенности вкуса и теряет (в случае недостаточной вкусовой стабильности) первоначальную гармонию. Это происходит под действием поглощенного при розливе кислорода, сотрясений при транспортировке, колебаний температуры и т. д. (см. раздел 7.6.5).

7.4.2. Факторы, влияющие на вкус пива

7.4.2.1. *Гармоничность вкуса* пива из-за низкой степени сбраживания снижается. Такое пиво зачастую имеет тягучий вкус без выразительных нот. Более высокое содержание спирта (при нормальной степени сбраживания), напротив, положительно влияет на гармоничность вкуса. При хорошем растворении солода, достаточной сушке и интенсивном способе затиранья солода возрастает количество азотсодержащих коллоидных веществ, улучшающих вкус пива. Высвобождение полифенолов усиливает вкусовое впечатление от пива.

В дальнейшем поддержание требуемого вкуса обеспечивается концентрированным затором, длительностью его кипячения и температурой затиранья (например, 35 °С). Лагерное и крепкие виды пива для усиления вкуса зачастую приготавливают с определенной долей жженого или томленного (5-10 %), а также светлого (3 %) или темного карамельного солода (1 %). Богатый белком (около 11 %) ячмень дает большое содержание в пиве азотсодержащих веществ, что способствует формированию гармоничного, ярко выраженного вкуса, прежде всего, у темных и вышуканных сортов пива (содержание белка — 11,5 %). Для гармоничного солодового и хмелевого вкуса в сортах пива *Pilsener*, светлого *Export* и *Bockbier* появления подчеркнутого ячменного вкуса стараются избегать. В данном случае оптимально использовать солод с низким содержанием белка и не слишком большим растворением. Способ слабого затиранья позволяет высвободить высокомолекулярные белковые соединения, повышающие гармоничность вкуса и вязкость (из-за содержания определенного количества β-глюкана). На гармоничность и полноту вкуса пива также положительно влияет повышенное содержание горьких веществ.

7.4.2.2. *Аромат пива* с отчетливым хмелевым тоном тесно связан с кратковременным (в среднем 30-45 мин) кипячением суслу с хмелем. Ароматобразующие вещества из ароматного хмеля (линалоол, гумуленэпоксид, кариофилленоксид, гумуленол) переходят в пиво при последних двух загрузках (за 20 и 5 мин до кипения по 25 % от общего количества). Аналогичный результат достигается при внесении части хмеля примерно за 20 мин до кипения (см. раздел 2.5.4.8).

Внесение свежих хмелевых продуктов в отделении дображивания в бочку через шпунтовое отверстие можно осуществлять по-разному, однако передаваемый при этом хмелевой аромат не очень стабилен и легко переходит в менее свежую ноту и дает резкую горечь. Усиливают этот эффект определенные ионы воды (в частности, SO_4^{2-}) и соотношение карбонатной и некарбонатной жесткости 1 : 2-2,5. Хотя отдельные побочные продукты брожения имеют более низкий порог вкусового восприятия, в результате их накопления вкус может приобрести более фруктовый или эфирный оттенок. Причиной такого аромата пива может быть также использование ячменя различных урожаев с недостаточным содержанием аминного азота. Так, недостаток валина может привести к повышению содержания 2-метил-1-пропанола (изобутанола), недостаток изолейцина — к увеличению содержания 2-фенилэтанола, однако повышенное образование высших спиртов связано прежде всего с высокими температурами брожения. Образование 2-фенилэтанола при использовании давления может незначительно ингибироваться. Кроме того, причиной повышения содержания высших спиртов может быть очень высокое содержание аминокислот (см. раздел 3.2.6.1). Из-за высоких температур брожения происходит существенное увеличение содержания сложных эфиров. Вместе с тем зачастую аромат этих веществ перекрывается более или менее выраженным дрожжевым оттенком. Длительное хранение крепкого пива приводит к увеличению содержания эфиров и появлению мягкого фруктового или цветочного аромата. На аромат пива при традиционном брожении можно также влиять путем выбора той или иной расы (или штамма) дрожжей.

7.4.2.3. *Игривость пива* (на второй стадии его оценки) можно повысить или путем изменения значения pH затора и сусла (непосредственно снижением pH при подкислении затора), или увеличением содержания буферных веществ. На вкус пива также влияет умеренная добавка гипса или CaCl_2 (до значения остаточной щелочности 2 °dH), что снижает значение pH. Более высокие дозировки вследствие потерь буферных веществ могут привести к формированию «пустого» вкуса пива. Игривость усиливается также при повышении содержания CO_2 .

7.4.2.4. Для завершающей стадии оценки вкуса пива характерна сильная хмелевая горечь. Содержание горьких веществ в зависимости от типа пива варьирует в широких пределах — от 15 до 50 мг/л и зависит от содержащихся в пиве коллоидов. Производные мягких хмелевых смол (например, так называемые «5-фракции») приносят во вкус мягкую горечь, если выделение смол при брожении было неполным или произошло оседание деки, тогда как повышенное содержание неизомеризованных α -кислот вызывает «широкий» горький вкус. Горечь дубильных веществ формируется при чрезмерном выщелачивании оболочек, из-за некачественной пивоваренной воды, при слишком затянувшемся процессе затирания, в результате значительного снижения объема промывных вод, из-за попадания воздуха при фильтровании или осветлении пива, при повторном затирании в промывной воде или применении уже использованной воды, а также и из-за неправильного хранения хмеля. Снижению горького вкуса способствует ошпаривание хмеля или использование хмелевых продуктов с пониженной горечью.

Белковая горечь пива проявляется при переработке слабо растворенного солода, при ускоренном (интенсивном) способе затирания, при недостаточном кипячении сусла, а также при недостаточном горячем или холодном осаждении мути. Причиной белковой горечи может оказаться также неправильное ведение процесса дображивания, запоздалое снижение температур в отделении дображивания и т.д. Более того, ее возникновение возможно и при нагревании пива, содержащего холодный осадок. Хмелевые масла и продукты их окисления могут вызывать целую гамму неприятных горьких привкусов. Причинами рекламаций при слишком раннем (до начала кипячения) или слишком позднем внесении хмеля в сусло могут стать использование хмеля с высоким содержанием мирцена (компонента эфирных хмелевых масел), в частности, сортов *Brewers Gold*, *Noithem Brewer*, *Bullion* или *Late Cluster* (сорта хмеля, придающие пиву горечь и особый аромат) и плохое хранение партий хмеля с высоким содержанием продуктов распада горьких кислот.

Обработка хмеля под вакуумом, дозирование хмеля примерно через 15 мин после начала кипячения и внесение хмеля при последующих закладках усиливает вкус пива. Описанная горечь зачастую формируется уже в бутелированном пиве, но лишь через определенное время его хранения.

Дрожжевая горечь сопровождается, как правило, дрожжевым запахом и привкусом. Она обусловлена медленным проведением главного брожения, преждевременно прекращенным дображиванием, а также выделением компонентов дрожжей. Причиной дрожжевой горечи могут стать также некоторые высшие спирты и сложные эфиры.

На третьей стадии вкусовой оценки пива в результате слишком значительного подкисления затора или сусла вкус может казаться кислым или острым (пикантным); соленый вкус возникает при слишком высокой дозировке хлорида кальция при высоком содержании ионов натрия. В незначительно охмеленном пиве и пиве, приготовленном с использованием несоложенного сырья, могут ощущаться и иные нюансы горечи.

7.4.3. Дефекты вкуса пива

Возникающие дефекты вкуса объясняются технологическими нарушениями, контактом сусла и пива с определенными материалами, а также жизнедеятельностью некоторых микроорганизмов. Большой частью дефекты вкуса возникают в результате окисления.

7.4.3.1. Дефекты вкуса вследствие технологических нарушений. Запах и ощущение сырой мякины на первой стадии вкусового восприятия свойственны солоду, полученному из некоторых сортов ячменя. При употреблении такого пива во вкусе ощущается остаточная горечь. Ароматические вещества такого пива (6-метил-5-гептеп-2-он, 1-октен-3-ол, этиловый эфир додекановой кислоты, 2-этил-гексанола) частично образуются в ходе липидного обмена веществ ячменя при прорастании, а также обнаруживаются в недостаточно выпаренном сусле (в частности, гексилловый, гептиловый и октиловый эфиры уксусной кислоты, 2-этилгексанола и т. д.).

Затхло-солодовая нота ощущается в пиве из очень сильно растворенного солода и (в определенных обстоятельствах) при высоком содержании свободного α -аминного азота. По результатам

ароматографического анализа выявляются 3-метилбутаналь, 3-метилбутан-2-он, гексаналь, 2-фурфурол и 2-фенилацетальдегид, а также повышенное (в несколько раз) содержание диацетила и ацетона. *Неприятная терпкая горечь* возникает в результате использования воды с высокой остаточной щелочностью, а также пережаренного или жженого солода, оседания деки, смешивания слишком больших количеств отстоявшегося пива или применения определенных (в частности, фторсодержащих) дезинфицирующих средств. *«Коптильный»* или *«дымный»* привкус передается затору, суслу и пиву в том случае, если сушку солода проводили теплым воздухом с использованием прямого обогрева недостаточно чистым топливом или с неправильно отрегулированной горелкой. *Хлебный привкус* (дефект пастеризованного пива) проявляется тем сильнее, чем выше температура и чем дольше продолжается пастеризация. Формированию такого привкуса также способствует повышенное содержание кислорода в пиве. Этот привкус проявляется и без нагревания как привкус окисления в процессе хранения бутилированного пива. Формируется он прежде всего при образовании альдегидов и в результате окисления полифенолов, сопровождающихся дополнительным окрашиванием пива (см. раздел 7.3.3).

Привкус молодого пива — это следствие сокращенного или неполного процесса дображивания и объясняется наличием меркаптанов и альдегидов (прежде всего ацетальдегида). Повышенное содержание ДМС (в зависимости от сорта пива — 80-120 мкг/кг) придает напитку пряный или овощной привкус. Луковый привкус обусловлен меркаптанами, образующимися при неправильной обработке суслу (см. раздел 2.7.7.1). Его

интенсивность и, соответственно, содержание метил- и этилмеркаптанов, а также метил- и этилтиоацетатов зависит от используемых рас дрожжей.

Так называемый *«солнечный привкус»* возникает под воздействием на пиво солнечных лучей (особенно он заметен у пива в зеленых бутылках, которые, в отличие от коричневых, не полностью поглощают лучи с длиной волны 350-500 нм). Солнечный привкус является следствием реакции меркаптанов с 3-метил-2-бутинил-группой горьких кислот хмеля и образования 3-метил-2-бутен-1-тиола. Помимо этого при воздействии света повышается содержание ацетальдегида, метил- и этилмеркаптанов, диметил- и диэтилсульфида.

7.4.3.2. Дефекты вкуса вследствие контакта с определенными материалами. Контакт пива с железом негативно сказывается на вкусе пива, поскольку дубильные вещества пива образуют с металлами чернилоподобные соединения. Этот негармоничный чернильный или металлический вкус сопровождается улучшением свойств пены, однако она при этом приобретает коричневатый цвет.

Смоляной привкус возникает при использовании для осмолки бочек плохо очищенной смолы или в результате продувания или замачивания бочки после недостаточной осмолки.

Привкус лака появляется в том случае, если для растворения лака применялись неправильные средства. Такой привкус может появляться при ремонте дефектной поверхности резервуара, покрытой определенным лаком. Использование некачественных масс для отделки резервуара (например, фенолформальдегида, эпоксифенола) при холодном ремонте дефектного покрытия может приводить

к появлению в пиве *фенольного* или *лекарственного привкуса*. К аналогичным дефектам вкуса приводят пивоваренная вода с содержанием нитратов, а также водопроводная вода, в которой содержатся фенолы или которую декарбонизировали фенольной ионитной смолой в присутствии в воде свободного хлора. Причинами фенольного привкуса могут быть непригодные к использованию уплотнители, старые или дефектные шланги, подвергавшиеся обработке хлорсодержащими дезинфицирующими средствами, а также кизельгур (особенно непрокалённый), хранившийся во влажном состоянии или неправильно транспортировавшийся. Порог вкусового восприятия составляет для хлорфенола 15 мкг/л, а для фенола — 30 мкг/л пива.

Пороги восприятия затхлого, землистого (см. ниже) и фенольного привкусов установить нелегко. Например, резиновые уплотнители могут содержать N-метиланилин, и при их дезинфекции гипохлоритом образуется 2,4,6-трихлоранилин, приводящий даже в сильном разбавлении к появлению затхлого запаха.

7.4.3.3. Дефекты вкуса, обусловленные воздействием микроорганизмов, вызываются микроорганизмами, развивающимися в сусле или ниве. *Термобактерии* вызывают привкус сельдерея, который удаляется из пива с большим трудом. Замедленное брожение, наблюдающееся, например, при недостаточной аэрации, при слишком малом внесении дрожжей или недостаточном перемешивании при внесении семенных дрожжей доливом в бродительный резервуар большой емкости, влечет за собой увеличение содержания фенольных соединений (4-винилгваяколя, 4-винилфенола), что может вызываться также контаминацией определенными

штаммами диких дрожжей или термобактериями (последние продуцируют существенное количество ДМС).

Дрожжевой привкус возникает при замедленном главном брожении и дображивании, а также вследствие *автолиза дрожжей*, который выражается в появлении скипидарного или землистого привкуса, зачастую сопровождающегося многогранной резкой горечью. Очень часто при перекачке молодого пива на дображивание или при слишком теплом дображивании в больших количествах образуется тиросол, окисляемый до параоксифенилуксусной кислоты с типичным фенольным привкусом, причиной которого может быть высокое содержание тиросола (5,0 мг/л) или триптофала (0,6 мг/л).

Дикие дрожжи вызывают появление у пива своеобразного цветочного и довольно часто едко-горького привкуса, сопровождаемого, как правило, замутненностью пива. *Укусный привкус* возникает при возврате пива из торговой сети в откупоренных бочках, в результате чего оно насыщается кислородом воздуха. Инфицирование пива бактериями, вызывающими порчу пива, большей частью связано с мутью или образованием донного осадка. Причиной молочнокислого привкуса являются *молочнокислые палочки*. *Сарцины* придают пиву легкий кисловатый привкус диацетила. Предшественник диацетила, 2-ацетолактат, продуцируется дрожжами в ходе главного брожения. Аэрирование пива при перекачке или неправильное, со сбоями, ведение дображивания могут стать причиной окисления 2-ацетолактата до диацетила, в результате чего готовое пиво приобретает его типичный привкус (он преимущественно формируется в готовом пиве лишь при окислении избыточного

содержания 2-ацетолактата, см. раздел 7.1.1.7).

Порог вкусового восприятия ацетона — 18 мг/л, однако в присутствии других соединений он ощущается даже в низких концентрациях (5-8 мг/л) в виде привкуса затхлого солода, напоминающего диацетиловый.

Землистый и плесневый привкус могут возникать в присутствии определенных видов плесеней и бактерий. Плохо хранившийся солод, заплесневелый хмель, плохие санитарно-гигиенические условия в варочном цехе, покрытые плесенью деревянный чан для брожения, бочки и фильтровальная масса, затхлый воздух в отделении дображивания — все эти факторы могут привести к появлению у пива затхлого «подвального» привкуса.

7.4.3.4. Пути улучшения вкусовых свойств пива в зависимости от выявленных дефектов вкуса могут быть разными. Например, благодаря введению активированного угля (10-15 г/г) при фильтровании с кизельгуром уменьшается дрожжевая горечь. Незначительный посторонний «землистый» привкус может быть устранен путем добавления такого же количества активированного угля за 3-7 сут до фильтрования. В тяжелых случаях, например при выявлении «копильного» привкуса, может понадобиться обработка активированным углем (до 50 г/г) в танке для дображивания и после фильтрования с добавлением еще 50 г активированного угля/г и 20% завитков. В дальнейшем такое пиво примерно после двух недель пребывания в танке для дображивания смешивают с кондиционным пивом в соотношении 1 : 3-5. При сильном «копильном» привкусе, возникающем из-за неправильной сушки

солода предлагаемый способ обработки может оказаться бесполезным.

Пиво, вследствие неправильного созревания содержащее диацетил, следует подвергнуть дополнительному созреванию. Быстрее всего это можно осуществить путем перекачивания и подогрева пива (на 10-20 °С), а также внесением 20 или 12 % завитков (в зависимости от температуры). Пиво выдерживают до тех пор, пока не произойдет снижения «общего диацетила» до нижнего порога вкусового восприятия. В отделении дображивания при 2-3 °С необходимо добавлять к завиткам 15-20 г ультращепы/г, после чего созревание пива может продолжаться 2-4 нед. Очень важно, чтобы завитки были получены от активных, оптимально введенных дрожжей. «Теплое созревание» приводит к улучшению вкусовых свойств пива, наличие диацетила в котором является результатом инфицирования микроорганизмами, но такое пиво перед последующей обработкой необходимо профильтровать и подвергнуть кратковременной температурной обработке.

7.5. Пена пива

Свидетельством высокого качества пива является хорошее пенообразование и стойкость пены. С ними, как правило, связаны и другие положительные свойства — гармоничность вкуса и игристость пива.

7.5.1. Теория пенообразования

7.5.1.1. Пенообразование происходит при реализации пива в розлив в результате образования большого числа пузырьков CO₂ и захваченного воздуха. При увеличении

в жидкости площади границы раздела с поверхностно-активными веществами пива эти пузырьки насыщаются. Чем ниже (до определенной степени) поверхностное натяжение пива, тем пузырьки пены меньше по размеру и тем больше становится их общая поверхность; таким образом, при их подъеме на них собирается больше поверхностно-активных веществ. На образование этой поверхности влияет также содержание CO_2 , однако в зависимости от состава пива слишком высокое содержание CO_2 обуславливает обильное выделение пузырьков и их поверхность не насыщается должным образом ПАВами.

7.5.1.2. Пеностойкость. Большое значение для ценообразования и пеностойкости пива имеет способность поверхностно-активных веществ образовывать эластичную пленку. Чтобы пена была стойкой, поверхностно-активные вещества должны реагировать друг с другом при уменьшении поверхностного натяжения, причем они частично коагулируют и выпадают в осадок. В первом случае благодаря вторичной реакции пена улучшается, а во втором происходит снижение пеностойкости.

7.5.1.3. Разрушение пены начинается с того, что пузырек пены лопается и образующая его пленка стекает вниз, при этом стимулируются процессы испарения, и пена в верхнем слое уплотняется. Более высокая вязкость поверхности и меньший диаметр пузырьков пены предотвращают стекание пленки с лопнувших пузырьков, и разрушение пены замедляется.

7.5.1.4. К веществам, положительно влияющим на качество пены, относятся прежде всего поверхностно-активные вещества

в эластичной пленке пузырьков газа. К ним принадлежат высокомолекулярные продукты расщепления белков, молекулярная масса которых составляет от 10000 до 60000. Важна также гидрофобность этих высокомолекулярных белковых соединений. Положительно влиять на качество пены могут и низкомолекулярные соединения, однако они могут вытеснять из слоя пены высокомолекулярные группы, в связи с чем важна доля высокомолекулярных соединений относительно низкомолекулярных — в частности, доля высокомолекулярного азота, осаждаемого с MgSO_4 , отражает общее содержание азота (> 20 %). Гликопротеиды придают поверхностно-активным пленочным образованиям (белковым) высокую вязкость, повышающую стабильность пены.

Вторая группа веществ, обуславливающих свойства пены, хотя и поверхностно-активна, но не способна участвовать в образовании эластичных оболочек пузырьков газа. В данном случае речь идет о горьких веществах хмеля, меланоидинах и полифенолах, которые благодаря комплексообразованию с белками укрепляют сформировавшуюся пленку. Дубильные вещества и антоцианогены способны на определенных стадиях окисления и конденсации вызывать коагуляцию и, таким образом, ухудшение качества пены. Этиловый спирт и некоторые побочные продукты брожения могут до некоторой степени улучшать свойства пивной пены, снижая поверхностное натяжение.

Третья группа представляет собой вещества, повышающие вязкость, — гумми-вещества ячменя, β -глюкан и пентозаны. Наряду с вышеуказанными свойствами, вещества этой группы могут играть роль своего рода защитных коллоидов, стабилизирующих образовавшиеся комплексы.

7.5.1.5. Вещества, негативно влияющие на пену, вытесняют соединения, образующую пленку, с поверхности и ослабляют тем самым слой пены. К таким веществам относят полифенолы, спирт и некоторые побочные продукты брожения, так как повышенное содержание аминокислот негативно сказывается на пене (при этом гидрофильные аминокислоты вызывают более сильное ослабление пены, чем гидрофобные). К липидам, негативно влияющим на пену, относят моно- и диглицериды (даже при незначительном их содержании, менее 0,3 мг/л). Стерины нарушают структуру пены при их содержании более 0,5 мг/л, насыщенные высшие жирные кислоты — при содержании более 1 мг/л, а ненасыщенные — более 0,3-0,5 мг/л, причем этот эффект усиливается в результате образования смешанной пленки. Свободные низшие жирные кислоты (C_6-C_{12}), образующиеся при брожении, влияют на пену негативно — например, содержание каприновой кислоты в 1 мг/л ухудшает пеностойкость на 1,3 с, а содержание капроновой кислоты в 3-5 мг/л даже на 4-6 баллов (по Россу и Кларку). Нейтральные липиды (в частности, фосфолипиды) также способны ухудшать пеностойкость, особенно в соединении с триглицеридами.

7.5.1.6. Содержание CO_2 в пиве имеет большое значение для образования и стойкости пены. При содержании CO_2 0,4-0,5 % масс, высота пены возрастает пропорционально содержанию CO_2 , однако на стойкость пены CO_2 не влияет.

7.5.2. Технологические факторы

7.5.2.1. Свойства пивной пены зависят в том числе и от *ячменя* — от его сорта,

года сбора урожая и области произрастания. Повышенное содержание белка (до 11 %) оказывает положительное влияние, а его содержание менее 9,5 % иногда отрицательное. В формировании пены играет роль доля высокомолекулярных белковых фракций и гликопротеинов (см. также главу 10, раздел 10.7.1).

7.5.2.2. *Влияние высокой степени растворения солода на пивную пену* оценивают по-разному. Слабо растворенный солод или добавка солода короткого ращения привносит в сусло больше вязких субстанций, положительно влияющих на пену. При высокой степени растворения снижается, хоть и не безусловно, абсолютное содержание высокомолекулярных азотсодержащих соединений, но относительная доля общего азота уменьшает содержание гликопротеидов. Хорошо и равномерно растворенный (гомогенный) солод дает лучшую сбраживаемость солодового экстракта, что приводит к быстрому главному брожению и к продолжительному выделению экстракта при низких температурах в отделении дображивания. В благоприятных условиях положительный для ценообразования состав суслы может сохраняться вплоть до получения готового пива. Солод, получаемый из ячменя с повышенной ферментативной активностью, требует ведения солодоращения при средней влажности, причем степень необходимой гомогенизации с учетом хорошей дальнейшей обработки препятствует сокращению продолжительности проращивания при снижающихся температурах. Повышенные температуры сушки (70-90 °C) способствуют улучшению пенообразования, как и добавка карамельного солода (более 3 % на засыпь).

7.5.2.3. Способ затириания. Все мероприятия, способствующие расщеплению белков, а также веществ, образующих белковую матрицу, одновременно вызывают снижение содержания коллоидов, положительно влияющих на пенообразование (высокомолекулярного азота, гликопротеинов, β -глобулина). Как правило, это низкие температуры затириания и значительные паузы в температурном интервале 45-55 °С, затириание при недостатке воздуха (см. раздел 2.3.1.8), а также пониженное значение pH затора. Благодаря затирианию при 60-65 °С, при значении pH 5,5-5,6, а также увеличенной продолжительности паузы при 70-72 °С (для растворения гликопротеидов) наблюдается противодействие слишком сильному расщеплению.

7.5.2.4. При осветлении во взвеси могут остаться высшие жирные кислоты и нейтральные липиды, особенно при отделении суслу от осадка, следствием чего может быть ухудшение пеностойкости и плотности пены.

7.5.2.5. Продолжительное кипячение суслу уменьшает объем пены, что объясняется обильным осаждением коагулируемого азота. В современных варочных системах при использовании выносного кипятильника или внутреннего кипятильника с сужающимся конусом необходимо контролировать температуру ТЭНа и продолжительность кипячения (в зависимости от температуры в суслотварочном котле).

7.5.2.6. Отстаивание. Недостаточное удаление осадка взвесей горячего суслу в дальнейшем, на стадии брожения, приводит к наличию в нем высших жирных кислот и нейтральных липидов. В осадке могут

содержаться дрожжи, что, как и недостаточное аэрирование суслу, приводит к медленному протеканию главного брожения и дображивания и впоследствии — к негативному влиянию на пену. Холодное отделение мути с помощью способа флотации осаждает липиды из пенистой деки. Наиболее значительные потери ненасыщенных жирных кислот возникают при холодном фильтровании суслу, однако могут иметь место и при интенсивном аэрировании при помощи трубки Вентури и/или стационарного миксера.

7.5.2.7. Главное брожение и дображивание. В зависимости от используемой расы и штамма дрожжей пена бывает разной, но при этом отличия в пенообразующих свойствах не так заметны, как при использовании дрожжей, поврежденных в результате неправильного ведения брожения, из-за нехватки питательных веществ в сусле и его недостаточного аэрирования, из-за позднего сбора дрожжей, а также в результате неправильного хранения (давление, CO₂, температура, время). Причинами ухудшения качества пены могут быть повышенные температуры брожения и применение давления. Если дрожжи при этих условиях поглощают слишком малое количество свободного аминного азота, то при слишком долгом пребывании в пиве они продуцируют основные аминокислоты, фосфаты, нуклеотиды, жирные кислоты и протеолитические ферменты. Внесение дрожжей в количестве около 25 x 10⁶ клеток, сильное аэрирование, главное брожение при температуре 9 °С, разбавление различных штаммов дрожжей молодым пивом, а также холодное хранение (в конце 1-3 нед. при -1 °С) способствуют формированию «правильной» структуры пены. При окончательном созревании вносят

также завитки для ускоренного расщепления 2-ацетолактата, что приводит к снижению выделения жирных кислот и свободного аминного азота с улучшением качества пены.

Слишком продолжительное «теплое» хранение пива с высоким содержанием дрожжей приводит к явному снижению пенообразующей способности из-за выделения дрожжами вышеуказанных веществ. Воздействие протеаз дрожжей продолжается и в бутилированном пиве, особенно при его хранении в теплых условиях. Инактивировать ферменты помогает кратковременная температурная обработка, по они все равно остаются в ниве вплоть до разрушения пены.

7.5.2.8. Прочие производственные факторы. Высококачественное фильтрование (с использованием обеспложивающих фильтров) приводит (преимущественно в первый час) к заметному уменьшению пенообразующей способности. Добавление некоторых стабилизаторов, например, щелочного бентонита и ферментов, снижает высоту пены, на которой могут отрицательно сказываться колебания давления в процессе розлива. Пиво из несоложенного сырья со значительной долей кукурузы, риса или сахара характеризуется меньшим количеством баллов по Россу и Кларку, однако плотность пены не снижается.

Негативно сказываются на качестве пены нарушения в технологии, в частности, применение сжатого воздуха, содержащего смазочные масла, и обработка фильтра и установки розлива загрязненными маслами паром.

7.5.2.9. На качество пены влияют и *способы реализации пива в розлив* — снижение давления насыщения CO_2 (см. выше)

в трубопроводе, использование для розлива неподходящего оборудования, загрязнение в пивопроводе снижают качество пены, как и использование бокалов с жировым налетом при неудовлетворительной их мойке (необходимо использовать лишь рекомендуемые моющие средства).

7.5.2.10. *Улучшение качества пены при помощи вспенивающих средств* в ФРГ запрещено. Добавление солей железа (0,6 г/г) во избежание потемнения пены осуществляют, как правило, вместе с восстанавливающими средствами. Препараты на основе высокомолекулярных белковых соединений и солей металлов (например, железа или никеля) бывают в виде альгинатов, дозируемых (5-10 г/г) в качестве производных альгиновой кислоты (пропиленгликольальгинат, альгинат натрия). Улучшает качество пены и гуммиарабик, вносимый частично уже в солод, однако некоторые подобные средства нарушают гармоничность вкуса пива и снижают его стабильность. Кроме того, соли железа могут способствовать проявлению гашинг-эффекта.

См. также главу 10, раздел 10.7.1.

7.6. Физико-химическая стойкость и ее стабилизация

Изначально прозрачное после розлива пиво при длительном хранении (при комнатной температуре) теряет свою первоначальную прозрачность с блеском, причем со временем образуется осадок. Образовавшаяся муть является необратимой и ее называют «стойкой мутью».

Коллоидное помутнение пива вследствие его охлаждения происходит при

температуре 0 °С и вновь исчезает при повышении температуры пива до 20 °С. Многократно повторяющиеся процессы нагрева и охлаждения приводит к постоянному увеличению коллоидного помутнения, которая в конце концов переходит в необратимую стойкую муть.

7.6.1. Состав коллоидных помутнений

Пивная муть может иметь разный состав. Несмотря на то что в большинстве случаев помутнение состоит из белковых веществ и полифенолов, в ее состав могут входить также комплексы из полипептидов и полисахаридов или из полипептидов и минеральных веществ.

7.6.1.1. Фракции полифенолов состоят из полимеризованных полифенолов, обладающих дубильной способностью, и могут происходить как из ячменя, так и из хмеля. Простые молекулы не имеют еще дубильной способности и не оказывают негативного влияния на пеностойкость — благодаря своим редуцирующим свойствам они оказывают на пену скорее положительное воздействие. Лишь вследствие окисления и полимеризации молекулярная масса исходных мономеров полифенолов повышается настолько (до 8 молекул катехина или антоцианогена), что полифенолы начинают оказывать на полипептиды «дубильное» воздействие.

7.6.1.2. Белковые фракции составляют 40–75 % коллоидного помутнения и образуются прежде всего из ячменя; остальная их доля образуется в процессе переработки солода и производства пива. Образователями мути являются высокомолекулярные пептиды и протеины, представляющие собой продукты расщепления

исходных белков ячменя (молекулярная масса - 30 000–100 000 и более).

В большинстве случаев полипептиды (протеиновая фракция, П) и полифенолы (Т-фракция, от «танпин») связаны водородными мостиками, образующимися между водородом фенольной гидроксильной и кислородом пептидной группы. В П-фракции содержится лишь небольшая доля высокомолекулярного азота, а в Т-фракции — лишь небольшая часть полифенолов.

7.6.1.3. Углеводы (α - и β -глюкан, 2—15%) также входят в состав коллоидного помутнения и стойкой мути. В мути с большим содержанием полисахаридов также присутствует значительная доля белковых или минеральных веществ.

Содержание золы в пивной мути составляет от 1 до 14%. Зола представлена серой (от белковых веществ), тяжелыми металлами (железом, медью, цинком, оловом и алюминием), а также рядом других ионов металлов. В состав мути может входить и кальций в различных соединениях (например, в виде оксалата кальция, см. раздел 7.6.6.1).

7.6.2. Образование коллоидного помутнения

В пиве ассоциаты молекул находятся в движении, приводящем к слипанию частиц и увеличению их размеров, в результате чего они становятся заметными. Такое «старение» коллоидов объясняется высокими температурами хранения или их броуновским движением.

При этом образуются вышеупомянутые адсорбционные связи протеинов и полифенолов. Если частицы коллоидного помутнения («холодной мути») еще

сильно гидратированы, то в веществах стойкой мути проявляются сжатие и денатурация коллоидов. Чем больше молекулярная масса белковых компонентов, тем легче они осаждаются при связи с полифенолами; увеличение содержания этих компонентов приводит к усилению дегидратации белков. В образовании коллоидного помутнения участвуют и полисахариды. При недостаточном расщеплении крахмала его мельчайшие частицы могут оставаться в сусле и пиве и образовывать донные отложения в транспортной таре.

На образование мути оказывает влияние также содержание в пиве коллоидов (например, общего азота, высокомолекулярных азотсодержащих соединений, полифенолов).

Растворенный в пиве кислород способен образовывать соединения как с белковыми, так и с полифенольными компонентами. В первом случае окисление сульфгидрильных групп полипептидов приводит к образованию дитиомостиков и тем самым к увеличению размеров молекулы. Во втором случае окисление вызывает повышение дубильной способности.

Наличие тяжелых металлов (Cu, Fe, Sn) оказывает окислительно-каталитическое действие. Более того, тяжелые металлы способствуют осаждению белков.

7.6.3. Технологические способы повышения коллоидной стойкости пива

Предпосылкой недостаточной «азотной нагрузки» в пиве является пониженное содержание белка в пивоваренном ячмене (менее 10 %). Такой ячмень отдает

(особенно при значительной степени растворения) большое количество полифенолов, вызывающих при затирании и кипячении суслу сильное выделение белка. Аналогичный эффект наблюдается при использовании сильно высушенного солода. С другой стороны, существенного улучшения белковой стабильности можно достичь путем удаления большей части полифенольных компонентов, например, при использовании солода, не содержащего процианидина, и хмелевого экстракта, не содержащего дубильных веществ. Снижение значения pH затора с 5,8 до 5,5 и использование температур затиранья 58-62 °C позволяет получить более оптимальный белковый состав, чем интенсивный способ затиранья без корректировки значения pH. Интенсивное кипячение суслу (например, с использованием выносного кипятильника) при pH 5,0 в сочетании с применением хмелевых препаратов, содержащих дубильные вещества, приводит к хорошему выделению белка. Положительный результат может иметь кратковременное кипячение суслу без хмеля (см. раздел 2.5.4.1). В сусле из несоложенного сырья осаждающее влияние полифенолов хмеля теряет свое значение. Отделение осадка взвесей горячего суслу является необходимой операцией, а из методов холодного отделения мути наиболее оптимален для физико-химической стойкости пива метод холодного фильтрования суслу. При интенсивном главном брожении активные вещества мути (полипептиды, полифенолы и глюкозаны) осаждаются. Улучшению стабильности пива также способствует ускоренный способ дображивания при низких температурах (от -1 до -2 °C). После созревания при температурах 12-20 °C положительно влияют на коллоидную стойкость

пива ускоренное охлаждение при минусовых температурах и холодное хранение в течение примерно 7 сут, а также высококачественное фильтрование на заранее охлажденном фильтре. Иногда в случае немного охлажденного пива может оказаться полезным глубокое охлаждение перед фильтрованием. Поглощение кислорода на линии розлива должно по возможности минимизироваться (см. раздел 5.3.6.5); кроме того, пиво необходимо защищать от контакта с нелакированными металлическими (содержащими медь, железо или олово) поверхностями.

7.6.4. Стабилизация пива

Естественный способ стабилизации вполне достаточен для получения пива нормальной стойкости (до 6 нед.), однако обычные сроки хранения пива (около 6 мес.) требуют особого внимания к вопросам стабилизации на каждом этапе производства (особенно для пива, поставляемого на экспорт, а также пива в банках и одноразовой таре). Пастеризованное пиво требует усиленной стабилизации по сравнению с пивом, розлив которого осуществлялся методами холодной стерилизации.

Для стабилизации пива применяют адсорбционные и химические средства.

7.6.4.1. Адсорбционные средства обладают селективной адсорбционной способностью относительно коллоидов пива и воздействуют либо на белковые компоненты (например, бентонит и препараты кремниевой кислоты), либо на полифенолы — например, полиамид или поливинилполипирролидон (ПВП).

Бентонит — это силикат алюминия с высокой способностью к набуханию, в котором доля щелочных или щелочнозе-

мельных ионов невелика. Используемые щелочные бентониты проявляют высокую способность к набуханию и, как следствие, хорошие адсорбционные свойства. Кальциевые бентониты набухают меньше, приводят к меньшим производственным потерям, чем щелочные, однако их стабилизирующее воздействие более слабое. В бентонитах не должно содержаться железа, иначе они будут оказывать негативное влияние на вкус и стабильность пива.

Щелочные бентониты вносят на практике лишь в отделении дображивания. Для равномерного их распределения в пиве необходимо, чтобы пиво было перекачено в специальный танк для стабилизации, куда добавляют суспендированное набухшее адсорбционное средство. Необходимая продолжительность воздействия зависит от скорости осаждения бентонита (при температуре от -1 до -2 °C его осаждение осуществляется в течение 3-7 сут). При перекачке пива из теплого отделения дображивания его необходимо соответствующим образом охладить. Продолжительность воздействия бентонита менее 3 сут на стабилизирующем эффекте отрицательно не сказывается, однако при этом увеличиваются потери пива.

Увеличение продолжительности стабилизации (8-10 сут) пользы не приносит, наоборот, у пива при определенных обстоятельствах может появиться легкий землистый привкус. В зависимости от времени осаждения общие потери при стабилизации бентонитом составляют 3-10%, а при неблагоприятных условиях и больше. При перекачке пива необходимо избегать его аэрирования (например, путем создания в танке противодавления CO_2 , применения отражателей или соответствующей установки приемного крана). Внесение щелочных

бентонитов при дозировании кизельгура возможно лишь при незначительной дозировке (30-50 г/г), причем расход кизельгура при этом существенно повышается. Если адсорбирующее средство дозируется в количестве 50 г/г уже при перекачке нива на дображивание, то оно не оказывает воздействия на дрожжи, однако его адсорбирующее действие оказывается слабее, чем при стабилизации в ходе закрытого хранения, в связи с чем не лишней будет повторная стабилизация (например, при фильтровании). При перекачивании и оптимальной продолжительности контакта дозировка в 30 г/г дает заметное повышение стойкости при охлаждении, 70-80 г/г обеспечивают стойкость напитка в течение 3-4 мес., а для пива, поставляемого на экспорт, необходимо вносить 130-200 г бентонита/г. Влияние различного количества внесенного бентонита на качество пива приведено в табл. 7.1.

Если адсорбция азота охватывает все азотсодержащие фракции, то наблюдается сильное снижение содержания коагулируемого азота, что отражается на изменении мути после добавления реактива

Эсбаха, а осаждение сульфата аммония, напротив, проявляется в гораздо меньшей степени. Уменьшение содержания полифенолов и антоцианогенов также значительно. При использовании бентонитов удаление горьких веществ и обесцвечивание выражены более явно, чем при использовании иных стабилизирующих средств, однако следует отметить слишком сильное снижение пеностойкости. Вкус нива становится более пустым и менее гармоничным, хотя в целом сохраняет свой характер. Общую стабильность пива в целом можно считать хорошей.

Препараты на основе кремниевой кислоты подразделяют на несколько групп и получают из жидкого стекла путем реакции с минеральными кислотами, после чего промывают, сушат и измельчают (таким образом получают ксерогели). Гидрогели с содержанием влаги 50-70 % получают частичной сушкой или путем промывания раствором концентрацией свыше 30 % SiO_2 . Кремниевые кислоты получают также с помощью кислотного гидролиза природных силикатов. Осаждение кремниевых кислот лежит в основе

Таблица 7.1. Влияние различного количества внесенного бентонита на качество пива

	Цветность, ед. ЕВС	Мутность при внесении реактива Эсбаха, 10 : 1, %	Содержание сульфата аммония, мг/10 мл	Содержание полифенолов, мг/л	Содержание антоцианогенов, мг/л	Горькие вещества, ед. ЕВС-ВU	Содержание общего азота, мг/100 мл	Содержание коагулируемого азота, мг/100 мл	Пеностойкость, с	Стабильность пены в теплую погоду при 0/60/0 °С, баллов	Алкогольный тест Шапона, ед. ЕВС
Пиво без бентонита	8,75	79	1,1	240	95,0	23,5	94,9	2,2	128	1	25
Пиво с бентонитом, 70 г/г	8,25	32	1,3	224	92,0	23,4	85,1	1,5	124	4	5
Пиво с бентонитом, 200 г/г	7,50	10	1,5	196	81,5	21,6	81,2	0,8	108	12	1

аналогичного способа производства ксерогелей. Удельная поверхность частиц этих препаратов составляет 400-700 м²/г, и они находят применение при фильтровании пива в потоке. При этом важна их водопроницаемость: у гидрогелей из крупного кизельгура водопроницаемость = 100, водный эквивалент = 240, а других гидрогелей соответственно 10-25 и 3-35. После прекращения набухания препаратов кремниевой кислоты потери при их использовании для стабилизации отставиванием незначительны. Оптимальная продолжительность контакта может быть разной в зависимости от используемого препарата. Обычно для достижения требуемого эффекта достаточно времени с момента их внесения в устройство дозирования кизельгура до прохождения сквозь фильтрующий слой. При использовании медленно реагирующих средств для полной стабилизации производят предварительную намывку (50-200 г/м² фильтрующей поверхности). В определенных обстоятельствах эффективность препаратов кремниевой кислоты может быть повышена — например, если

при длинном пивопроводе на некотором достаточно большом расстоянии перед фильтром установить местное дозирующее устройство или смонтировать перед фильтром буферный танк (это увеличивает продолжительность контакта пива со стабилизатором на 10-15 мин).

Алкольный тест Шапона (зависимость холодной мутности пробы при добавлении этанола) с дозированием от 70 до 200 г/гл свидетельствует о небольших изменениях, по он является средством ускоренного анализа. Наибольшее влияние силикагеля (табл. 7.2) достигается тогда, когда подлежащее обработке пиво уже предварительно осветлено (на центрифуге или кизельгуровом фильтре), что дает существенную экономию (до 30 %).

При фильтровании в потоке количество вносимого препарата может быть разным (от 30 до 150 г/гл), причем силикагель может частично снимать фильтрационную нагрузку с измельченного кизельгура (до 50 %). Если необходимо повышение пропускной способности фильтрационной массы, то рекомендуется применять смесь из ксеро- и гидрогелей.

Таблица 7.2. Влияние различного количества внесенного силикагеля на свойства пива

	Цветность, ед. ЕВС	Мутность по альбуминометру Эсбаха, 10 : 1, %	Содержание сульфата аммония, мл/10 мл	Содержание полифенолов, мг/л	Содержание антоцианогенов, мг/л	Горькие вещества, ед. ЕВС-ВU	Содержание общего азота, мг/100 мл	Содержание коагулируемого азота, мг/100 мл	Пеностойкость, с	Стабильность пены в теплую погоду при 0/60/0 °С, баллов	Алкольный тест Шапона, ед. ЕВС
Пиво без внесения силикагеля	8,75	79	1,1	243	97,5	23,5	94,9	2,2	128	1	25
Пиво с внесением 70 г/гл силикагеля	8,75	74	2,0	234	95,0	23,5	91,3	1,8	127	3	7
Пиво с внесением 200 г/гл силикагеля	8,75	52	2,5	213	87,5	23,7	87,1	1,7	122	>12	2

При небольших дозировках (до 50 г/гЛ) отличный результат дает применение гидрогелей. Стабилизации силикагелем в потоке самой по себе недостаточно для удовлетворения повышенных требований к стойкости пива, и в этом случае необходимо его использовать в сочетании с бентонитами, ПВПП или силикагелями, вводимыми либо при перекачке на дображивание, либо после закрытого созревания пива.

Препараты кремниевой кислоты менее специфично действуют на коагулируемый азот, и более специфично — на высокомолекулярные фракции. Снижение содержания общего азота немного меньше, чем у бентонитов. Действие этих средств можно проследить по осаждению сульфата аммония. Количество антоцианогенов существенно уменьшается, цветность и содержание горьких веществ остаются без изменений, а параметры пены изменяются лишь незначительно. Полнота вкуса пива не снижается, по характер горечи иногда может немного меняться.

Добавление препарата кремниевой кислоты в потоке хотя и вызывает незначительное снижение содержания общего азота, но способствует более интенсивному осаждению полифенолов.

Результаты ускоренного теста и алкогольного теста Шапона при увеличении дозировки свыше 100 г/гЛ свидетельствуют о непропорционально низком повышении стойкости пива. Сопоставление

стабилизации бентонитом и силикагелем приведено в табл. 7.3.

Сочетание бентонитов и препаратов кремниевой кислоты. Использовать преимущества отдельных средств можно при их сочетанном применении. Стабилизация бентонитом по отстойному методу проводится до тех пор, пока альбуминометр Эсбаха не покажет величины помутнения 10-20 % (для этого требуется от 70 до 100 г бентонита/гЛ. Количество препарата кремниевой кислоты регулируется до достижения осаждения сульфата аммония в 2,2-2,5 мл/10 мл, что соответствует внесению препарата в 80-100 г/гЛ (его можно намывать с бентонитом для улучшения осаждения, а также добавлять при фильтровании). Показатели пеностойкости меняются лишь в зависимости от дозы бентонита и соответствуют внесению 200 г бентонита/гЛ.

Силикагель (кизельзоль — соль кремниевой кислоты) представляет собой коллоидный раствор SiO_2 в воде (92 % воды) и образуется в ходе реакции нейтрализации серной кислоты и жидкого стекла. Его нередко применяют для улучшения осветления сусла или адсорбции частичек мути при холодном хранении пива, добавляя или к горячему охмеленному суслу, или при перекачивании молодого пива на дображивание в количестве 30-60 мл/гЛ. Силикагель улучшает фильтруемость пива и несколько повышает его стойкость. Добавка в аппарат для дозирования кизельгура (преимущественно

Таблица 7.3. Показатели пива при внесении бентонита и силикагеля

	Алкогольный тест Шапона, ед. ЕВС	Ускоренный тест при 60/0 °С, сут
Пиво без внесения бентонита или силикагеля	25	1
Пиво с внесением 100 г бентонита/гЛ	5	9
Пиво с внесением 100 г силикагеля/гЛ	5	4-6

вместе с пивом) в количестве 5-10 мл/гл повышает эффективность фильтрования.

Полиамиды и поливинилполипирролидон (ПВПП) являются высокополимерными синтетическими материалами, получаемыми путем конденсации или полимеризации из соответствующих низкомолекулярных соединений. Эти смолы способны адсорбировать полифенольные вещества пива, и с их помощью можно частично удалить полифенольную муть (при этом другие свойства пива — содержание азота, цветность, качество пены и т. д. не изменяются).

На современных производствах в пиво, профильтрованное через кизельгур, на втором фильтре вводят 20-50 г ПВПП/гл. При этом преимущественно используют металлотканые фильтры с горизонтальными ситами, расстояние между которыми несколько увеличено (до 35 мм). При забивке фильтра, что при дозировке 50 г ПВПП/гл происходит примерно через 16 ч фильтрования или стабилизации, его регенерируют. Для регенерации фильтра и разрушения водородных связей между ПВПП и полифенолами проводят щелочную промывку в течение 8 мин 0,9 %-ным раствором NaOH. После промежуточной промывки горячей водой с температурой 80 °С проводят повторную регенерацию собранной щелочью (0,9-1 %) с температурой 85 °С с последующей промывкой водой и продувкой CO₂ до получения значения pH менее 7,0. Прежде при использовании азотной кислоты для промывки требовалось большое количество воды (можно использовать и фосфорную кислоту). Для предотвращения инфицирования регенерированную фильтрующую массу хранят при температуре около 85 °С в специальной емкости с медленно работающим месильным органом. Предварительная намывка

фильтра водой производится из расчета 200 г/м², а в заключение проводят продувку CO₂. Пиво с требуемой дозировкой ПВПП (ПВПП: вода = 1 : 9) поступает в фильтр снизу. После кратковременной циркуляции его направляют в танк фильтрованного пива под давлением или на установку розлива. Для достижения стабилизирующего эффекта достаточно продолжительности контакта пива с ПВПП в течение 4-5 мин. При небольших дозировках можно использовать фильтр с несколькими фильтрующими слоями. Потери ПВПП составляют в зависимости от применяемой технологии 0,5-1 %. При использовании регенерированных фильтров их материал несколько изменяет свою структуру, его частицы становятся мельче, и фильтр становится менее проницаемым. Регенерированный ПВПП в пиве не растворяется, как и силикагель.

После стабилизирующего ПВПП-фильтра устанавливают пластинчатый или свечной хлопчатобумажный фильтр (см. раздел 4.3), необходимый для улавливания оставшихся в пиве мельчайших частичек ПВПП. Хотя для стабилизации небольших объемов пива ПВПП можно добавлять в нефильтованное пиво, все же лучше его вносить в пиво, предварительно осветленное с помощью центрифуги (вместе с препаратом кремниевой кислоты для фильтрования через кизельгур), но в этом случае ПВПП невозможно регенерировать, и он теряется.

Эффективность стабилизации при внесении 50 г ПВПП/гл характеризуется (у предварительно фильтрованного пива) снижением содержания полифенолов более чем на 50 %, антоцианогенов — более чем на 70 %, а содержание танноидов в пиве становится нулевым (эта фракция с молекулярной массой 500-3000 адсорбируется полностью).

Снижение содержания полифенолов означает потерю редуцирующих веществ, но в настоящее время ни ухудшения вкуса пива, ни его стойкости из-за этого не выявлено.

Как видно из табл. 7.4, ПВПП после ускоренного теста дает очень хороший результат, однако тест Шапона свидетельствует об ином. Относительно неизменяемые высокомолекулярные белковые фракции при сильной нагрузке характеризуются некоторой чувствительностью белка, и в этом случае целесообразно применять комбинированную стабилизацию с 30-100 г силикагеля/гл. При использовании гидрогеля он благодаря щелочной регенерации может даже растворяться в ПВПП. Так как контроль ПВПП-стабилизации по тесту Шапона осуществлять затруднительно, представляется целесообразным автоматически определять содержание таннинов.

Стойкость пива, обработанного таким способом (особенно в сочетании с силикагелем) очень высокая. Аналогично используют и *слои из полиамида*, по так как в начале фильтрования они существенно меняют свойства пива, а к концу — меньше, то всю партию отфильтрованного пива до направления на розлив необходимо собрать и гомогенизировать.

7.6.4.2. *Химические средства* могут оказывать различное действие — путем осаждения белков, их ферментативного

расщепления или, благодаря редуцирующему действию, они снижают или устраняют вредное влияние на пиво кислорода (применение химических средств стабилизации в ФРГ запрещено).

протеины. По данным общего анализа содержание коагулируемого и $MgSO_4$ -азота снижается в зависимости от дозы внесения таннина. Товарный препарат на основе таннина относится к группе гидролизующих полифенолов и содержит глюкозу, гидроксильные группы которой этерифицированы молекулами галловой или полигалловой кислоты. Этот чистый препарат обычно добавляют (3-10 г/гл) в последние дни хранения пива, но не менее чем за сутки до фильтрования. Для этого пиво перекачивают с возможным его охлаждением до температуры от -1 до -2 °С. Слишком низкие дозы внесения вызывают недостаточное осаждение, негативно сказывающееся на фильтруемости пива. При увеличении дозировки происходит ухудшение пивной пены, возникает немного более жесткий оттенок вкуса, а также определенная восприимчивость к окислению. Тем не менее чистые препараты, как правило, не приводят к ухудшению вкуса пива и свойств пены. Эффект стабилизации проверяется по альбуминометру Эсбаха. При нормальной дозировке фильтруемость пива не ухудшается — наоборот, снижается нагрузка на фильтры. Можно также вносить

Таблица 7.4. Эффективность стабилизации пива с применением ПВПП и силикагеля

	Алкогольный тест Шапона, ед. ЕВС	Ускоренный тест при 60/0 °С, сут
Пиво без внесения ПВПП или силикагеля	25	1
Пиво с внесением 50 г ПВПП/гл	12	> 9
с внесением 50 г силикагеля/гл	5	> 9
с внесением 35 г ПВПП/гл		

этот препарат при перекачивании пива на дображивание, но при этом его дозировку следует увеличить примерно на 30 %. Более целесообразно его вносить в созревшее, уже охлажденное пиво, предназначенное для холодного хранения в течение 1-2 нед. Новые препараты на основе таннина можно также дополнительно вносить при фильтровании через кизельгуровый фильтр (они остаются в фильтре).

При кипячении суслы таннин успешно используют для улучшения коагуляции белка, но поскольку какая-то его часть гидролизует под действием высокой температуры, то дозировка должна составлять 3,5-6 г/гЛ (см. раздел 2.5.3).

Протеолитические ферменты расщепляют комплексные белки на низкомолекулярные соединения, уже не образующие мути. К наиболее часто используемым ферментам относятся папаин (оптимальное значение pH 4,7), бромелин, фицин и пепсин, который лучше всего действует при значении pH 2 и температуре 37 °C, то есть при пастеризации (в этом случае при пастеризации нередко выдерживают паузу). Добавление ферментов производят обычно за 10-14 сут до розлива, когда уже достаточно осветленное пиво перекачивают на холодное хранение. Ферменты добавляют также в предварительно или окончательно отфильтрованное пиво (в последнем случае препарат не должен влиять на прозрачность пива с блеском). Добавление ферментов при перекачивании пива на дображивание оправданно только в случае кратковременного хранения, поскольку часть ферментов осаждается с дрожжами, и при известных условиях может произойти запыление дрожжей. Наличие в розлитом пиве кислорода или следов тяжелых металлов снижают действие ферментов.

Ухудшение пенообразующих свойств пива отмечается уже при нормальном внесении ферментов и отчетливее всего проявляется при холодном стерильном розливе (при кратковременной температурной обработке или полной пастеризации оно не так заметно). При холодном стерильном розливе негативное действие может быть следствием инфицирования ферментативного препарата.

Активность ферментов затухает в течение нескольких суток после розлива. Пиво, обработанное ферментами, нередко склонно к избыточному пенообразованию. В зависимости от вида ферментного препарата его дозировка может быть разной: внесение 2-4 г товарного препарата/гЛ соответствуют 0,5-1 г стандартного папаина, причем при его внесении в процессе перекачивания пива на дображивание дозировку следует увеличить. В результате стойкость пива позволяет хранить его 6-12 мес. (> 9 теплых дней 60/0°C). Что касается иммобилизованных ферментов, то до их внедрения дело еще не дошло, так как устойчивость ферментов на носителе до сих пор не доказана.

Снижения количества высокомолекулярных полисахаридов (компонентов мути) можно достигнуть при хранении пива путем внесения солодовой вытяжки (взятой для α -глюкана при температуре от 35 до 45 °C [от 0,1 до 0,5 %], для декстринов — при температуре от 50 до 65 °C [0,1 %] или в качестве первого суслы [0,5 %]). При этом может произойти повышение конечной степени сбраживания, дополнительная нагрузка на фильтр, обусловленная высокомолекулярными пептидами, и ухудшение свойств пивной пены.

Эндо- β -глюканазы вносят в целях улучшения фильтруемости пива, при перекачивании пива на дображивание или

при перекачивании созревшего и охлажденного пива. Эта мера приемлема для улучшения фильтруемости компонентов пива, но, с другой стороны, ухудшает свойства пивной пены, и более целесообразно применять β -глюканазы во время затирания солода (см. раздел 2.3.3.9).

Редуцирующие добавки вносят в виде сульфитов, аскорбиновой кислоты или редуктонов, полученных из Сахаров. Для связывания 1 мг кислорода/л требуется 4 мг SO_2 , 11 мг аскорбиновой кислоты или 175 мг редуктонов.

Сульфиты (бисульфиты, гидрогенсульфиты) являются производными серной кислоты. Они очень быстро связывают кислород, содержащийся в пиве, но увеличение их содержания повышает содержание диоксида серы, приводящего к ухудшению вкуса пива. Сульфиты вносят в количестве 6–10 мг/л при перекачивании пива на дображивание или при перекачивании созревшего пива.

Аскорбиновая кислота, как и редуктоны, содержит диенольную группу. При окислении кислородом воздуха она теряет два атома водорода и переходит в дегидроаскорбиновую кислоту, которая превращается в 2,3-дикетогулоновую кислоту. В присутствии ионов тяжелых металлов (например, меди), действующих как катализатор, в чистых растворах аскорбиновой кислоты одна молекула кислорода окисляет две молекулы аскорбиновой кислоты и связывает воду. В пиве с большим содержанием окисляемых соединений один атом молекулы кислорода, вступающий в реакцию с аскорбиновой кислотой, может быть израсходован на окисление других веществ (например, через промежуточное образование перекиси водорода).

Применение аскорбиновой кислоты целесообразно в том случае, когда необ-

ходимо компенсировать незначительное количество кислорода (0,5–1,0 мг/л) и тем самым ограничить окисление компонентов пива. Рекомендуется вносить ее в уже фильтрованное пиво незадолго до розлива в количестве 2–8 г/гл.

Редуктоны сахаров получают путем обработки сахара в щелочном растворе и вносят в отделении дображивания в количестве 25–35 г/гл пива. Образующиеся красители осаждаются под действием извести.

Зачастую различные средства применяют в их сочетании, и в случае правильного использования получается дополнительный положительный эффект.

Растворенный в пиве кислород можно также удалить с помощью глюкозооксидазо-каталазной системы. При этом имеющееся остаточное количество глюкозы окисляется с образованием глюконовой кислоты. Такие ферменты довольно дороги.

Одна из инноваций касается добавления оксидазы глюкозы в прокладку кронен-пробки, где этот фермент наряду с материалом, адсорбирующим кислород, и внесением иммобилизованных дрожжей поглощает остаточный кислород из пространства горлышка бутылки и сдерживает проникновение кислорода под пробку (0,002 мл кислорода/сут).

7.6.5. Стабильность вкуса пива

Под стабильностью вкуса понимают способность пива вплоть до его употребления сохранять (по возможности без изменений) первоначальный вкус, присущий пиву сразу же после розлива.

Изменения вкуса пива в ходе его хранения можно разделить на две большие группы: с одной стороны — изменение полноты вкуса, игристости и горечи,

ухудшение исходной гармоничности вкуса, а с другой — изменение аромата пива, появление «вкуса старения» или «засвеченного» привкуса.

Эти изменения протекают не одновременно: если явления из первой группы проявляются довольно рано, например, после транспортировки пива или при неблагоприятных условиях хранения, то последние зависят от свойств пива и степени его контаминации и могут проявиться через несколько недель или даже месяцев.

Изменение гармоничности вкуса пива обусловлено степенью гидратации коллоидов пива под воздействием явлений, вызывающих их «старение» (см. раздел 7.6.1). Транспортировка, колебания температуры и окисление обуславливают снижение полноты вкуса и появление резкой или размытой горечи (белковой). Чем меньше коллоидная стойкость пива, тем ниже стабильность вкуса пива.

Изменение горечи пива вызывается не только коллоидами: во время хранения снижается содержание в пиве изогумулонов, и горечь пива в результате окисления полифенолов или хмелевых масел может приобретать резкий или размытый характер.

Появление вкуса старения происходит в несколько этапов: сначала появляется оттенок, напоминающий аромат черной смородины. Затем появляется картонный привкус, переходящий в хлебный аромат и вкус. При этом игристость пива снижается, а горечь становится все более размытой. Очень старое пиво характеризуется шерриподобным ароматом. При старении пива происходит рост содержания многих летучих соединений, в частности высокомолекулярных, отчасти ненасыщенных карбонильных соединений. Некоторые специалисты считают

основной причиной образования вкуса старения именно их.

Эти соединения возникают в результате действия следующих механизмов.

- Расщепление аминокислот по Штреккеру, вследствие чего образуются карбонильные соединения с недостающим атомом углерода. В темноте они катализируются следами ионов металлов, но на свету расщепление протекает быстрее и стимулируется рибофлавином, полифенолами и спиртами.
- Окислительное расщепление изогумулонов, преимущественно C_4 - C_7 -алкеналей и C_6 - C_7 -алкадиеналей, которое стимулируется под действием света в присутствии рибофлавина.
- Окисление спиртов меланоидинами, которому способствуют свет и наличие рибофлавина, но сдерживаемое полифенолами. Хотя высшие спирты продуцируют альдегиды, важные для формирования вкуса, вместе с тем в ходе преобразования этанола в ацетальдегид продуцируются предшественники (прекурсоры) других компонентов старения.
- Самоокисление высокомолекулярных жирных кислот выражается в образовании преимущественно низкомолекулярных альдегидов (C_5 , C_6); стимулируется оно воздействием света, а рибофлавин в этом случае играет роль ингибитора.
- Ферментативное окисление высокомолекулярных жирных кислот (линолевой и линоленовой) до гидроксикислот и их расщепление до высокомолекулярных ненасыщенных альдегидов протекает на свету и в темноте примерно с одинаковой скоростью. Основные реакции проходят уже в ходе солодоращения (см. раздел 1.4.1.5), однако оксидазные системы (пероксидаза,

липогексиназа) еще активны и при за-тирании.

- Катализация пролином альдольной конденсации низко- и высокомолекулярных альдегидов.
- Окислительное расщепление карбонильных соединений вызывает расщепление высокомолекулярных ненасыщенных альдегидов до низкомолекулярных ненасыщенных, в связи с чем меняется их содержание (увеличение или снижение) в ходе хранения пива.

Таким образом, эти изменения происходят вследствие различных реакций компонентов пива, причем повышение концентрации меланоидина способствует как расщеплению аминокислот по Штрекеру, так и окислению спиртов, а полифенолы содействуют расщеплению аминокислот по Штрекеру, но ингибируют расщепление спиртов, катализируемое действием света, и т. д.

В ходе оценки разных видов пива было показано заметное увеличение содержания целого ряда соединений, в том числе 2-метил-пропаналя, 2-метил-бутаналь, 3-метил-бутаналь, бензальдегида, фенилацетальдегида, 3-метил-бутан-2-она, 2-фурфурала, 1-гептаналь, γ -ноналактона, сложного эфира никотиновой кислоты, 2-ацетил-фурана, 2-пропиониил-фурана и 2-ацетил-5-фурана. При этом по «факторам старения» — окислению пива, термической нагрузке и старению в целом — их можно классифицировать следующим образом.

- индикаторы кислорода: 3-метил-бутаналь, 2-метил-бутаналь, бензальдегид, фенилэтаналь;
- индикаторы термической нагрузки: 2-фурфураль, сложный эфир никотиновой кислоты, γ -ноналактон;
- индикаторы старения: все вышеперечисленные соединения, а также 3-ме-

тил-бутан-2-он, 2-ацетил-фуран, 2-пропиониил-фуран.

Окисление в процессе приготовления сула вызывает увеличение содержания 2-пентанона, 2- и 3-метил-бутаналь, 2-гептанона, 2-фурфурала и гептаналь.

Засвеченный привкус пива наблюдается главным образом у бутылочного пива, но под действием света проявляется иногда и в пиве после розлива. У бутылочного пива прозрачные, зеленые или светло-коричневые стеклянные бутылки (см. раздел 5.3.1.1) не полностью поглощают свет с длиной волны 350-500 нм. Технологическими мерами повлиять на реакции важнейших компонентов пива (см. раздел 7.4.3.1) практически невозможно. Несколько приостановить образование «засвеченного» привкуса помогает применение восстановленных хмелевых экстрактов, включающих тетраоксиизогу-молон.

Технологические факторы вкусовой стабильности пива. Поскольку основной причиной изменения вкуса является поглощение кислорода после брожения и на участке розлива, следует учитывать следующие моменты: при перекачке созревшего пива в танки для холодного хранения в них следует создавать избыточное давление CO_2 ; опорожнение танков и все процессы фильтрования и розлива можно производить только в атмосфере CO_2 (см. раздел 5.3.6.5). Применение азота в качестве инертного газа при розливе менее благоприятно, чем CO_2 . Показатель общего содержания кислорода (растворенного в пиве и содержащегося в пространстве горлышка бутылки) при современных требованиях к стойкости пива при хранении не должен превышать 0,30 мг/кг.

Во избежание слишком сильной нагрузки пива по азоту солод подбирают

как по содержанию белка (не более 10,5 %), так и по степени его растворения (39-41 %). Чтобы иметь возможность применить слабый способ затирания (при температуре свыше 60 °С) без каких-либо проблем для последующего производственного процесса, необходимо обеспечить высокую гомогенность затора. Благодаря этому, а также путем оптимального ведения брожения при хорошей ассимиляции азота достигается низкое содержание в пиве аминного азота, что важно для ингибирования образования альдегидов из их предшественников путем преобразования Штрекера или реакции Майяра. Приготовление сусла при ограниченном доступе воздуха стимулирует процессы расщепления при затирании и предотвращает окисление полифенолов, благодаря чему они сохраняют свои редуцирующие свойства в процессе пивоварения. Редуцирующая способность редуктонов зависит от степени биологического подкисления затора и до определенной степени компенсирует неконтролируемое поглощение кислорода при приготовлении сусла. Так как продукты реакции Майяра способствуют образованию карбониллов старения, то слишком сильная сушка солода нежелательна (опытным путем определено, что температуру сушки следует ограничить 82-83 °С). Кроме того, следует избегать чрезмерной термической нагрузки на сусло до и после кипячения. Системы кипячения, работающие в области повышенных температур, не вызывают негативных последствий только в том случае, если гарантируется равномерное и интенсивное испарение (чем помогает предотвращение образования «мертвых зон»). При выдержке горячего сусла еще продолжают образовываться достаточное количество карбонильных соединений, которые больше не

испаряются и переводятся дрожжами в соответствующие спирты и эфиры не полностью. В результате рекомендуется избегать превышения общей продолжительность тепловой выдержки в конце кипячения и при охлаждении сусла в 110 мин. Рекомендуется всегда проводить биологическое подкисление сусла. Испарительный охладитель обуславливает интенсивное выпаривание ароматических веществ сусла и охлаждение в диапазоне температур около 80 °С, тогда как охладитель в трубопроводе для перекачивания готового сусла оказывает лишь охлаждающее действие, хотя он также довольно эффективен.

Пиво из сусла, испытывавшего сильную термическую нагрузку, быстро утрачивает свой первоначальный характер. Следует также избегать «перепастеризации» независимо от того, обусловлена ли она слишком длительным пребыванием в установке для кратковременной высокотемпературной обработки или в туннельном пастеризаторе. Следует тщательно отслеживать ход смешивания с остаточным пивом, которое из соображений микробиологической безопасности неоднократно подвергалось термической обработке.

Образование карбонильных соединений из жирных кислот уже доказано: например, фильтрованное сусло, содержащее взвешенные частицы, характеризуется повышенным содержанием не только пальмитиновой кислоты (C_{16}), но и линолевой ($C_{18:2}$) — частицы взвеси не полностью осадились в процессе кипячения сусла, а при последующем его осветлении (например, в вирпуле) удалялись лишь частично. Быстрое старение пива наступает в результате достоверно подтвержденной концентрации карбонильных соединений.

Ферментативное расщепление липидов можно проследить по анализу гексаналя, но в настоящее время точные сведения о содержании и роли липогексиназ и пероксидаз пока отсутствуют. Высокие температуры затирания (60-65 °С) обеспечивают более благоприятные результаты, чем температуры порядка 45-60 °С. Хорошее осветление пива, затирание суслу которого проводилось при температуре около 35 °С, свидетельствует как о наличии последующих реакций, так и о возможности выпаривания образовавшихся промежуточных их продуктов.

Указанное выше благоприятное содержание полифенолов способствует усилению действия редуктонов, что можно проследить по содержанию танноидов. Благоприятно на него влияют использование ячменя, выросшего в приморском климате, однородное растворение солода, не слишком низкая степень сушки, применение мягкой пивоваренной воды, а также биологическое подкисление и затирание с ограниченным доступом воздуха. Кроме того, положительно влияет на содержание танноидов применение гранулированных хмелевых препаратов. Стабилизация пива с применением ПВПП ослабляет действие редуктонов, в связи с чем содержание кислорода в пиве должно оставаться низким.

Интенсивное аэрирование суслу компенсирует дефицит жирных кислот; очень важны также равномерное распределение дрожжей, быстрое сбраживание и хорошая абсорбция аминокислот. Большое значение имеет способность дрожжей связывать SO₂ (благодаря дрожжевым смесям можно использовать пограничное значение — 10 мг/л).

В результате аэрации кислородом редуктоны теряют свои редуцирующие свойства, а выделение аминокислот после

брожения, напротив, обеспечивает для вышеописанных процессов наличие участников реакций. В этой связи желательным представляется возможно более хорошее сбраживание, то есть присутствие очень незначительной доли сбраживаемых Сахаров. Пиво, приготовленное из несоложенного сырья, хотя и характеризуется пониженным содержанием низкомолекулярных азотсодержащих веществ, продуктов реакции Майяра и жирных кислот, при правильном приготовлении практически не отличается по характеристикам старения от пива из смешанных сортов солода.

Для выявления отклонений на отдельных этапах производственного процесса или оценки успешности принятых мер помимо вышеперечисленных аналитических показателей — ТБЧ, изменение цвета (см. раздел 7.3.3), состав полифенолов — полезно также знать содержание в пиве редуцирующих веществ (выявляемое, например, по спектрофотометрическому анализу обесцвечивания индикатора). См. также главу 10, раздел 10.7.3.

7.6.6. Химическое помутнение

7.6.6.1. Оксалатная муть вызывается выделением оксалата кальция в кристаллической или аморфной форме и обуславливает появление помутнения или, в большинстве случаев, осадка. В качестве своего рода «ядер конденсации» эти частицы мути могут вызывать или усиливать гашинг-эффект (чрезмерное ценообразование, см. раздел 7.6.7).

Щавелевая кислота присутствует уже в солоде (в зависимости от года урожая), причем с пшеничным солодом в затор вносится примерно в два раза больше солей щавелевой кислоты (30-45 мг/кг), чем с ячменным (8-25 мг/кг). Доля

внесения солей щавелевой кислоты (оксалатов) из хмеля незначительна. С мягкой пивоваренной водой в затор, естественно, попадает меньше кальция, что вызывает соответственно повышение содержания оксалатов в пиве. Соотношение «сульфат кальция : оксалат кальция» считается неустойчивым, если оно составляет 0,25-5 при содержании CaC_2O_4 более 20 мг/кг, стабильным при значении 5-13 (содержание CaC_2O_4 порядка 15-20 мг/кг) и очень устойчивым при значении более 13 (содержание CaC_2O_4 менее 15 мг/кг). Пиво, приготовленное из мягкой воды, бывает склонно к осаждению оксалатов, особенно если при фильтровании или после него оно поглощает кальций. Это может происходить в фильтр-прессах, которые промывались и стерилизовались более жесткой водой, причем карбонат кальция благодаря содержанию в пиве CO_2 снова переводится в растворимую форму и тем самым может вступать в реакцию со щавелевой кислотой и образовывать оксалат кальция. Этот недостаток можно устранить, как правило, путем отделения первого сусла, а также карбонизацией и/или умягчением воды для мойки фильтра. Кроме того, эффективна кислотная мойка фильтра сильно разбавленным раствором молочной или лимонной кислот.

Для снижения содержания оксалатов в заторе, сусле или пиве целесообразно повысить жесткость слишком мягкой воды, для чего используют 50-70 мг кальция/л (7-10° нем. градусов жесткости), соответствующих внесению 20-30 г гипса/гл или 28-40 г ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)/гл. Чтобы гарантировать отсутствие осаждения оксалатов, содержание кальция в пиве должно составлять более 35 мг/л, а для пшеничного пива — свыше 50 мг/л.

Хорошее осаждение дает очень холодное хранение пива (при -1°C) в течение не менее двух недель, причем эти сроки и температуру необходимо также выдерживать при интенсивных способах брожения и созревания. При наличии проблем с оксалатами в таком пиве после фильтрования целесообразно еще раз выдержать его при температуре -1°C 24-48 ч, а затем еще раз профильтровать.

Для обеспечения наилучшего «выхода» кальция и хорошего осаждения оксалатов в процессе приготовления пива внесение кальция в виде гипса или хлорида кальция следует равномерно распределять в заторную и промывную воду.

Муть, обусловленная применением дезинфицирующих средств, образуется в том случае, если данными средствами очищали металлические поверхности емкостей и трубопроводов от пивного камня, а чистый металл, прежде всего олово, вызывает образование так называемой белково-металлической мути. К образованию мути способны некоторые дезинфицирующие средства (например, формальдегид), остатки которых не полностью смываются после их применения. Это также относится и к некоторым поверхностно-активным веществам, применяемым для дезинфекции танков для хранения фильтрованного пива.

Клейстерная муть вызывается высокомолекулярными декстринами, при реакции с йодом дающими красное или темно-фиолетовое окрашивание. Вследствие увеличения в ходе брожения содержания этилового спирта они растворяются все меньше и образуют пленку («вуаль») или муть, в большинстве случаев замедляющие брожение. Этот дефект, причиной которого является грубое нарушение технологии в варочном отделении, можно компенсировать введением

солодовой вытяжки (около 20 %) (см. раздел 2.3.5.5).

7.6.7. Фонтанирование пива (гашинг-эффект)

Гашинг-эффект проявляется спонтанным избыточным пенообразованием при открывании бутылки с пивом, обусловленным не повышенным содержанием CO_2 , а его выделением на микроскопически мелких ядрах конденсации (гидрофобных твердых частицах). Эти частицы могут иметь белковую природу, образовываться кристаллами, а также ионами тяжелых металлов. В зависимости от причин следует различать «первичный гашинг-эффект», обусловленный сырьем в широком смысле, и «вторичный гашинг-эффект», в основе которого лежат технико-технологические условия производства.

Главной причиной *первичного гашинг-эффекта* является солод, изготовленный из инфицированного ячменя или пшеницы. Присутствующие в них микроорганизмы из-за инфицирования в фазе созревания зерновой культуры плесневым грибом провоцируют образование в сердцевине зерна веществ, индуцирующих гашинг-эффект. Инфицирование замочной воды или солодорастильного ящика конidiosпорами хотя и не дает ту же степень инфицирования, однако благодаря оптимальным для микроорганизмов условиям по влажности, температуре и времени также способствует образованию веществ, приводящих к гашинг-эффекту. Первоначально с гашинг-эффектом пытались бороться путем подсчета в навеске ячменя «красных» зерен. К важнейшим микроорганизмам, вызывающим гашинг-эффект, согласно ускоренным тестам, относят (по мере их

значимости) *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. crockwellense*, *Alternaria alternata*, *Microdochium nivale* и *Rhizopus stolonifer*. Эти плесневые грибы распространяют свои споры в эндосперме зерен хлебных злаков и расщепляют белки и гемицеллюлозу клеточных стенок с усилением протеолитической и цитолитической активности ферментов. Поверхность зерна окрашивается в красно-фиолетовый цвет, гипертрофируется мицелий и выделяются токсины. При солодоращении сдерживать возможность усиления гашинг-эффекта удастся лишь благодаря сокращению срока проращивания и снижению влажности проращиваемого материала, но определяющим при этом является все же инфицирование сырья. Склонность к проявлению гашинг-эффекта снижается при хранении солода около года. Веществами, индуцирующими гашинг-эффект, являются растворимые в воде ПАВы, изоэлектрическая точка которых находится в диапазоне от 1,9 до 3,5. Поскольку молекулярная масса таких веществ составляет менее 10000, благодаря мембранному фильтрованию через фильтр с размером пор менее 0,1 мкм можно существенно снизить склонность пива к чрезмерному фонтанированию.

Инфицированию зёрен в поле (например, озимой пшеницы) способствуют некоторые ее предшественники, например высаживаемая ранее на тех же площадях кукуруза, а также заплата соломы.

Зерна, лопнувшие на стебле или поврежденные при прорастании, подвержены усиленному росту плесневых грибов только в случае уже имевшегося инфицирования ими.

Технологические мероприятия (например, более глубокое расщепление

белка при затирании или интенсивное кипячение сусле) приводят к улучшению только при низкой склонности к проявлению гашинг-эффекта — сильное инфицирование зерна корректировке не поддается. То же относится и к стабилизации пива силикагелем (100-200 г/г) или бентонитом. Перепастеризация пива также позволяет отсрочить гашинг-эффект на 4-6 нед., не оказывает длительного действия. Смешивание нормального пива и пива со склонностью к чрезмерному фонтанированию следует проводить крайне осторожно (то же относится и к солоду).

Рассмотренный в предыдущем разделе гашинг-эффект, вызываемый кристаллами оксалата кальция, устраняется путем регулирования содержания кальция в заторе, сусле и в пиве.

Вторичный гашинг-эффект также вызывается разными факторами, в частности изменением степени дисперсности коллоидов пива, повышением температуры и значения рН при дображивании, но прежде всего — остановками дображивания. В этом случае путем перекачивания, охлаждения и смешивания пива с пивом в стадии низких завитков (5-7 %), а также последующего хранения в течение 2-3 нед. можно добиться снижения гашинг-эффекта. Возможно также смешивание с нормальным пивом.

Ядра кристаллизации могут образовываться благодаря присутствию в бутылках следов металлов, вызванных неполным смывом фольги или металлизированных этикеток, остатков кизельгура и других инородных тел, а также следов тяжелых металлов вследствие повреждений футеровки танков, содержания железа в кизельгуре или бентоните. Вызывать фонтанирование пива может

и изоэкстракт при условии его ненадлежащего хранения, особенно если он использовался лишь для внесения хмелепродуктов. В этом случае помогает дополнительное использование базового экстракта, побочного продукта при изготовлении изо- α -экстракта или внесение не менее 50 % хмеля в форме порошка или гранул. Гашинг-эффект может быть следствием микроскопических шероховатостей на внутренней поверхности бутылок, неудовлетворительного удаления щелочи, присутствия следов железа в горячей воде, используемой на участке между установкой розлива и укупорочной машиной, и, наконец, наличия в компаундной массе прокладки кронен-пробки некачественного мягчителя.

Проблема установления причин и устранения гашиг-эффекта представляет трудности из-за того, что он проявляется лишь спустя какое-то время после розлива, зачастую затрагивает не все бутылки и по-разному реагирует на условия пастеризации и соударения бутылок при транспортировке. Аналитических методов для выявления значимых для фонтанирования факторов в целях определения эффективности предпринимаемых мер не существует. К профилактическим мероприятиям можно отнести проверку солода на его контаминацию микроорганизмами, вызывающими гашинг-эффект, контроль ячменя, пшеницы или изготовленного из них солода на предрасположенность к гашинг-эффекту с помощью ускоренных методов испытаний, а также отказ от использования пораженных вредителями партий зерна. Мероприятия по улучшению характеристик собственно пива дают достаточно скромный эффект (см. об этом выше).

7.7. Фильтруемость пива

Хорошая фильтруемость пива является предпосылкой безукоризненного его осветления при обычной производительности фильтра (в час или в течение срока его эксплуатации) и приемлемом (низком) расходе фильтрующих материалов. Нарушения процесса фильтрования проявляются двояко:

- фильтр не обеспечивает предусмотренной производительности, вследствие чего не выполняется суточное или сменное задание по фильтрованию,
- фильтрат после осветления получается неприемлемого качества по содержанию дрожжей или микроорганизмов.

В первом случае имеет место слишком быстрое повышение давления, вследствие чего или падает часовая производительность фильтра, или преждевременно достигается предельное давление фильтра при постоянной его производительности в гектолитрах. За время, предусмотренное на фильтрование, требуется провести вывод из эксплуатации, отмучивание, промывку и повторный запуск фильтра. Так как на это уходит много времени, зачастую стерилизацией фильтра пренебрегают, из-за чего наряду с неудовлетворительными количественными показателями фильтрования повышается и риск инфицирования. Увеличивается и расход кизельгура, так как предварительная намывка фильтра производится лишь частично, а очень высокое текущее дозирование обуславливает более длительные простои.

Во втором случае при неудовлетворительном осветлении давление в фильтре повышается нормально или даже непропорционально медленно, но фильтрат не достигает желаемой прозрачности

(вместо обычных значений мутности 0,5-0,7 ед. ЕВС мутность характеризуется значениями более 2 ед. ЕВС), что приводит к сильной перегрузке последующего фильтр-пресса. При фильтровании только через намывной слой кизельгура это вызывает необходимость повторного фильтрования. Причины указанных явлений могут быть разными (см. ниже).

7.7.1. Причины плохой фильтруемости пива

Закупоривание фильтра возникает из-за присутствия веществ, вызывающих помутнение пива. В пиве содержатся коллоиды (размером мене 1 мкм), белковые вещества, β - и даже α -глюканы (мельчайшие зерна крахмала), а также бактерии и дрожжи, образующие на поверхности фильтра непроницаемую пленку или способствующие уменьшению размеров пор. *Недостаточная прозрачность пива с блеском* возникает в случае, когда очень мелкие взвешенные вещества не улавливаются фильтром. Вещества, вызывающую плохую фильтруемость пива, делятся на следующие группы.

7.7.1.1. β -Глюканы с молекулярной массой от 100 000 до более 700 000, которые образуются при солодоращении непригодных видов ячменя (в частности, определенных сортов озимого ячменя), при неомогенном растворении эндосперма (в частности, при переработке солода с повышенной долей непроростков, следствием чего является высокое процентное содержание медленно прорастающих зерен), при работе с солодом, полученным ускоренными способами солодоращения при высокой влажности проращиваемого материала в относительно теплых условиях, а также при использовании

наклюнувшегося солода или неочищенного пивоваренного ячменя. Способ затирания хотя и играет некоторую роль, однако не может существенно скорректировать содержание таких β -гликоанов. Крупные молекулы β -гликана, еще связанные с белковой матрицей, высвобождаются β -гликансолюбилазой лишь при температурах выше 62–65 °С (см. раздел 2.3.1.3), однако эндо- β -1,4-гликаназы в этих условиях уже неактивны, так что это содержание β -гликана переходит через сусло в пиво.

Тем не менее явной корреляции между общим содержанием β -гликоанов в пиве и его фильтруемостью не наблюдается. У высокомолекулярных β -гликоанов с молекулярной массой 250 000–750 000, согласно данным последних исследований, важным фактором является способность к гелеобразованию. Эти гели образуются под влиянием повышающейся концентрации этилового спирта и снижающейся концентрации мальтозы при дображивании, а также под действием усилий сдвига, возникающих в неправильно подобранных центрифугах для молодого пива. Благодаря кратковременному нагреванию (до фильтра) этому гелеобразованию можно было бы воспрепятствовать, не изменяя при этом содержания высокомолекулярных β -гликоанов. В этом случае содержание высокомолекулярных β -гликоанов в сусле должно быть низким; кроме того, следует избегать воздействия на пиво усилий сдвига (в насосах, центрифугах и т. п.). Остаточное пиво, особенно полученное из отстоявшегося дрожжевого осадка, богато гелеобразующими β -гликанами.

Присутствующие в пиве белковые вещества (осадок взвесей холодного сусла) и дрожжи снижают (наряду с гелями β -гликана) производительность фильтра.

При этом фильтрационный осадок из грубых кизельгуров оказывается более восприимчивым к белковым веществам и дрожжам, а β -гликаны способны проходить через крупные поры такого кизельгура. Осадок взвесей сусла и дрожжи снижают проницаемость более тонких кизельгуров в меньшей степени, чемгель β -гликана, который задерживается на фильтре, но это существенно зависит от формы и структуры частиц кизельгура.

7.7.1.2. Высокомолекулярные декстрины, хотя и обладают меньшей молекулярной массой по сравнению с β -гликанами, присутствуют в больших количествах. В ходе брожения сусла и хранения пива растворимость декстринов с положительной йодной реакцией уменьшается. Образование высокомолекулярных декстринов объясняется неудовлетворительным качеством солода, ошибками при мокром помеле (см. раздел 2.2.2.7), затирании или фильтровании сусла, а также при позднем внесении оболочек.

7.7.1.3. Белковых веществ в пиве больше, чем β -гликоанов, однако белковая муть обычно относительно легко фильтруется. В большинстве случаев они присутствуют в пиве вместе с α - и β -гликанами. В случае позднего охлаждения (например, в конце хранения или в охладителе непосредственно перед фильтрованием) образовавшаяся муть может затруднять фильтрование.

7.7.1.4. Дрожжи встречаются в пиве иногда в довольно большом количестве. Если у хорошо выдержанного пива содержание клеток хлопьевидных дрожжей составляет всего 0,05–0,2 млн, то пылевидные дрожжи дают до 5 млн, а у недостаточно

выдержанного пива — нередко и 10 млн клеток. При плохом оседании дрожжей или дефектах выпускных патрубков могут возникать скопления дрожжей, блокирующие фильтр и обуславливающие быстрое снижение его производительности. В ЦКТ для дображивания и созревания пива происходит произвольный захват плотно осевших дрожжей из конусной части — это может наблюдаться и в танках большого объема, в которых при постепенном снижении давления дрожжи частично поднимаются со дна.

7.7.1.5. Недостаточное осветление пива после фильтрования может иметь место как при обработке очень мутных, перегруженных коллоидами и дрожжами, так и достаточно прозрачных партий. В первом случае речь идет о веществах, препятствующих фильтрованию, и об очень тонкодисперсных веществах. Быстрое повышение давления позволяет считать целесообразным дозировку более грубого кизельгура, однако он не в состоянии удерживать мелкие молекулы белков и α -глюкана. Остаточное помутнение пива в этом случае составляет более 2 ед. ЕВС.

При хорошем осветлении пива из отделения дображивания мутность пива обусловлена немногочисленными диспергированными в пиве частицами, которые не задерживаются фильтром. Это свидетельствует о том, что для достижения полного осветляющего действия слон кизельгура, образующиеся при предварительной намывке или при текущем его дозировании, нуждаются в своего рода вспомогательном фильтрующем веществе из пива в виде дрожжей и белков. После отказа от применения асбеста в качестве вспомогательного адсорбирующего средства эта проблема постоянно

выявляется. Причиной является слишком глубокое осветление пива с помощью центрифуги (из-за длительного хранения пива, сопровождающегося повышением значения pH, воздействием протеаз дрожжей на высокомолекулярные белки и продуцирование жирных кислот).

7.7.1.6. Помутнения микробиологической природы (см. раздел 7.8) с трудом отфильтровываются. Это касается помутнений как вследствие скоплений микроорганизмов, так и происходящего в результате их жизнедеятельности нарушения коллоидного баланса (из-за изменения значения pH).

7.7.2. Профилактические меры

7.7.2.1. Дефекты, обусловленные действием β -глюканов, могут быть предотвращены благодаря комплексу мероприятий, направленных на улучшение растворения солода и его гомогенности. Разность экстрактов тонкого и грубого помолов не должна превышать 1,8 %, вязкость — 1,55МПа·с, а доля полностью стекловидных зерен (по фриабилитметру с ситом 2,2 мм) — 1,5 %; кроме того, следует стремиться к значению VZ 45 °C более 37 %. Особо важное значение имеет гомогенность солода. Партии солода плохого качества лучше отделить, провести их затирание при температуре 35 °C и переработать отдельно. Из практических соображений их вносят лишь в бродильном цехе или в начале дображивания. Целесообразно скорректировать значения pH затора (в данном случае до 5,4-5,5) и сусла (до 4,9-5,0). Такая корректировка, а также повышение нормы внесения дрожжей (30 млн клеток), усиленное поэтапное аэрирование и введение семенных

дрожжей доливом вызывают быстрое начало брожения, интенсивное снижение значения pH и усиление осаждения веществ, препятствующих фильтрованию. При этом большое значение придается освежению дрожжей и поддержанию их жизнеспособности (см. раздел 3.3.4). Добавление солодовой вытяжки (отобранной при 35-45 °С) способствует улучшению созревающего пива, но при этом следует учитывать возможные микробиологические риски (см. раздел 7.6.4.2).

7.7.2.2. Дефекты, вызванные высокомолекулярными декстринами, можно устранить мероприятиями, обеспечивающими безупречное расщепление крахмала (см. раздел 2.3.5.5) или предотвращающими растворение неосахаренного крахмала (например, при неправильном выполнении долива, фильтровании и клейстеризации зерен крахмала при кипячении сусла).

7.7.2.3. Уменьшение содержания белковых веществ мы подробно описывали ранее (см. раздел 7.6.3). Следует избегать захвата взвесей горячего сусла, которые при последующей флотации препятствуют дальнейшему осаждению взвесей сусла. В данном случае при известных условиях может оказаться полезной седиментация взвесей охлажденного сусла. Хорошему осветлению способствует также охлаждение дображиваемого пива еще до начала перемещения слоев пива, обусловленного процессом дображивания. К укрупнению частиц мути при «программируемом» созревании и хранении пива приводит продувка CO₂ (дважды по 4 ч, 3-5 г/гл в час) в сочетании с ускоренным охлаждением до температуры ниже 0 °С.

7.7.2.4. Содержание дрожжей в пиве можно снизить во время созревания с помощью древесной щепы (5-20 г/гл), а после созревания — путем создания в пиве турбулентности (например, с помощью промывки CO₂) с последующей фазой осаждения дрожжей. Пылевидные дрожжи и пиво верхового брожения требуют перед фильтрованием осветляющего сепарирования, для которого, а также для двойного фильтрования пива, полученного ускоренным способом, хорошо рекомендовали себя на практике сдвоенные фильтры-танделы. Буферные танки перед фильтром благодаря разбавлению в них дрожжей предотвращают образование на фильтре дрожжевых наслоений. Дозирование кизельгура в зависимости от степени помутнения менее целесообразно. В ЦКТ в ходе созревания и холодного хранения дрожжевой отстой необходимо периодически удалять (в последний раз — незадолго до фильтрования). Для отмучивания остатков дрожжей со стенок конусной части танка и обеспечения в ней более глубокого расслоения пива целесообразно провести 2-3 продувки CO₂ длительностью 1-2 с каждая. Слив пива из конусной части через двойной выпуск и его фильтрование в конце рабочего дня менее рационально, так как танк до этого простаивает и его невозможно вымыть. Наиболее целесообразным в этом случае представляется фильтрование оставшегося в конусе пива в конце предыдущего рабочего дня (во избежание возможного наслоения дрожжей на только что намыйтый фильтр).

7.7.2.5. При улучшении недостаточного осветления пива из танка для дображивания с частицами мути (β- и α-глюкана, белковых веществ, дрожжей) применяют все описанных выше меры. При этом

на качество и количество фильтрата положительно сказывается применение центрифуги для осветления до прозрачности с блеском.

При *фильтровании* хорошо осветленного пива в отделении дображивания следует избегать слишком глубокого осветления созревшего пива (например, после расщепления диацетила). В этом случае целесообразно провести сепарирование содержимого только в начале и конце ЦКТб, поддерживая содержание в пиве остаточных дрожжей (2-3 млн клеток). Это важно при перекачивании пива на дображивание из ЦКТ в горизонтальные емкости. При фильтровании силикагель (5-10 мл/г л, см. раздел 7.6.4.1), взмученный с пивом в аппарате для дозирования кизельгура, повышает эффективность фильтрования, однако в дальнейшем может потребоваться корректировка, а именно использование несколько более интенсивного способа затирания, дальнейшего подкисления сусла, а у пшеничного пива (см. раздел 8.4.3.5) — повышение доли хмелепродуктов, содержащих полифенолы, предотвращение выделения дрожжами продуктов их метаболизма и повышения значения рН.

См также главу 10, раздел 10.8.

7.8. Биологическая стойкость пива

В рамках данной книги мы можем рассмотреть проблемы биологической стойкости пива лишь вкратце. На нее влияют микроорганизмы, способные развиваться в пиве и вызывать в нем помутнение или образование донного осадка, а также приводить к порче пива из-за продуктов своей жизнедеятельности. Количество этих микроорганизмов невелико, так как

пиво благодаря наличию спирта, CO_2 и горьких веществ, низкому значению рН и анаэробной среде, а также дефициту легко усваиваемых источников азота и углерода и низким температурам в процессе приготовления лишает большинство микроорганизмов, особенно патогенных и термостойких, возможности развиваться. Таким образом, в пиве способны размножаться лишь молочнокислые бактерии, грамотрицательные бактерии родов *Pectinatus* и *Megasphaera*, а также активные дрожжи. От момента контаминации этими организмами до появления мути или донного осадка проходит определенное время, зависящее от степени контаминирования, принадлежности микроорганизмов к тому или иному роду и от степени их адаптации к среде, от свойств пива, наличия кислорода и температуры хранения.

7.8.1. Причины контаминации

7.8.1.1. Бактерии *Pediococcus damnosus* наряду с моно- и диплококками формируют специфические тетрады и образуют в пиве после розлива донный осадок (иногда помутнение), а также придают пиву кислый маслянистый привкус диацетила. Эти опасные микроорганизмы, вызывающие порчу пива, в качестве первичного контаминанта встречаются прежде всего в отделении хранения чистой культуры дрожжей, бродильном цехе и отделении дображивания. Уже в ходе брожения они могут обусловить повышенное содержание диацетила, а при сильной контаминации могут проходить и через фильтр. Благодаря последним инновациям в технологии фильтрования эти бактерии уже редко попадают в пиво после розлива. Большинство проблем возникает в «дрожжевом белом» пиве

(*Hefeweissbier*), если какое-то количество педиококков присутствует в дозируемых дрожжах. Наряду с *Pediococcus damnosus* встречается также *Pediococcus inopinatus*, но этот вид на пивоваренных производствах гораздо меньше распространен.

Пивные молочнокислые бактерии представлены многочисленными видами, которые могут приводить к порче пива. Чаще всего это гетероферментативные виды *Lactobacillus brevis* и *Lactobacillus lindneri*, способные вызывать помутнения и придавать пиву кисловатый привкус из-за образования молочной и уксусной кислот, CO₂ и этилового спирта, однако диацетил они не продуцируют. Иногда встречаются также гомоферментативные виды *Lactobacillus casei* и *L. coryniformis*, вызывающие интенсивное образование диацетила (особенно в слабо охмеленном пиве, например, в дрожжевом белом). Эти облигатные микроорганизмы могут быть как первичными (*L. lindneri*), так и вторичными контаминантами (многочисленные штаммы *L. brevis*). Так как осаждение молочнокислых бактерий происходит не так интенсивно, как у педиококков, то они присутствуют во всем объеме пива, находящегося в цехе дображивания и чаще попадают на фильтрующие слои; при гидравлических ударах они нередко заносятся в пиво после розлива.

В последние годы все активнее выходят на передний план грамотрицательные строго анаэробные бактерии родов *Pectinatus* и *Megasphaera*. Причины этого заключаются, прежде всего, в использовании бескислородных технологий, особенно на участке розлива, а также некоторое повышение значений pH пива, поскольку не происходит биологического подкисления сусла. Бактерия *Megasphaera cerevisiae* образует относительно крупные

скопления овальной формы, объединенные в пары или цепочки. Вследствие продуцирования этими бактериями масляной, валериановой и капроновой кислот пиво становится совершенно непригодным к употреблению.

Сходным образом ведет себя и бактерия *Pectinatus cerevisiiphilus*, продуцирующая главным образом пропионовую кислоту и ацетон. Эта бактерия имеет форму слегка искривленных или штопороподобных палочек. В начале развития они подвижны вследствие монолатерального (гребенчатого) поражения жгутиковыми бактериями. Этот вид встречается чаще некоторых молочнокислых бактерий (им вызывается более 10 % микробиологических проблем пива).

Характерным для бактерий родов *Megasphaera* и *Pectinatus* является так называемая «случайная» контаминация, когда при розливе поражение этими микроорганизмами касается лишь отдельных бутылок. Это свидетельствует о типичном вторичном инфицировании, причинами которого служат проблемные участки в установке розлива и укупорки.

7.8.1.4. Потенциальная и косвенная контаминация, вызывающая порчу пива. Наряду с вышеуказанными облигатными бактериями, вызывающими порчу пива, в пивоваренном производстве часто встречаются также микроорганизмы, представляющие потенциальную или косвенную опасность. Посторонние микроорганизмы не могут развиваться в пиве, розлив которого осуществлялся обычным способом, но если они достаточно долго существуют на производстве, то со временем способны адаптироваться к пивной среде. Кроме того, они могут оказать отрицательное действие на отдельные типы пива (например, на безалкогольное или

слабоохмеленное пиво, пиво с повышенными значениями pH). Обычно это касается бактерий *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* или *Micrococcus kristinae*.

Некоторые виды микроорганизмов, вызывающие порчу пива, не способные развиваться в нормальном пиве, могут размножаться в среде культурных дрожжей или ретентата, вызывая предварительную контаминацию, которая переносится впоследствии и на пиво после розлива. В большинстве случаев речь идет о грамотрицательных энтеробактериях, которые, как и многие бактерии суслу, вызывают неприятный «сельдерейный» привкус из-за продуцирования ДМС, ацетона и других соединений.

7.8.1.5. Дикие дрожжи реже, чем бактерии, выступают в качестве контаминантов. Чаще всего речь идет о сильноображивающих штаммах *Saccharomyces cerevisiae*, а именно *S. diastaticus* и *S. logos*. Благодаря сбраживанию декстринов эти дрожжи способны размножаться в хорошо сброженном пиве с образованием в бутылочном пиве помутнений и донного осадка. Кроме того, в большинстве случаев в пиве образуется нетипичный аромат и «царапающий» горький посторонний привкус. Эти виды дрожжей могут выступать как в качестве первичных, так и вторичных контаминантов пива, хранящегося в бочках и бутылках.

7.8.1.6. Культурные дрожжи. Если они попадают в пиво после розлива вследствие недостаточной эффективности фильтрования, то в некоторых условиях в нем может образовываться легкий донный осадок или происходить размножение колоний дрожжей на дне бутылки. Особенно подвержено этому риску пиво с большой разностью между КСС и степенью

сбраживания готового пива. Кроме того, росту культурных дрожжей способствует повышенное поглощение кислорода при розливе пива. Такому риску подвержено также безалкогольное пиво, получаемое методами прерывания брожения или контакта с дрожжами, поскольку при этом в пиве присутствует еще достаточное количество легко сбраживаемых Сахаров. С учетом этого данные типы пива по возможности следует пастеризовать в бутылках.

7.8.1.7. Микроорганизмы-индикаторы. В современной микробиологии пива постоянно необходимо выявлять следовую контаминацию. Поскольку выявление следов затруднено и большую роль здесь играет случайность, то в настоящее время в целях повышения надежности применяют подтверждение контаминации путем использования так называемых «микроорганизмов-индикаторов». Речь идет, прежде всего, о специфичных для пивоварения уксуснокислых бактериях (*Acetobacter pasteurianus* и *Gluconobacter frateurii*), которые зачастую сопутствуют другим микроорганизмам, вызывающим порчу пива. Если эти микроорганизмы-индикаторы систематически и в повышенных концентрациях встречаются в местах контакта с пивом, то в таких «точках риска» необходимо провести мойку и дезинфекцию, а также тепловую обработку (паром).

См. также главу 10, раздел 10.9.1.

7.8.2. Обеспечение биологической стойкости пива

Биологическая стойкость пива обеспечивается применением безупречных с микробиологической точки зрения активных семенных дрожжей, их контроля и сквозной

мойкой и дезинфекцией танков, трубопроводов и аппаратов. При этом особого внимания требуют установки автоматической мойки. Высококачественное фильтрование в сочетании с розливом без доступа воздуха при условии качественно вымытой тары создает предпосылки биологической стойкости пива даже без его нагревания и пастеризации. На отдельных этапах производства, таких как брожение, дображивание, фильтрование и розлив, необходим тщательный микробиологический контроль.

Для обнаружения различных микроорганизмов, вызывающих порчу пива, требуются специальные культуральные среды селективного действия. Так как определенные микроорганизмы, вызывающие порчу пива (в частности *L. lindneri*), крайне требовательны к особым ростовым веществам (например, соединениям, продуцируемым в ходе метаболизма дрожжей), то индикаторные среды также должны характеризоваться оптимальным составом питательных и ростовых веществ. Основными требованиями в микробиологическом анализе являются надежность обнаружения, избирательность, оперативность, простота применения и хорошая интерпретируемость результатов анализа. В этих целях были разработаны специальные среды (например, *VLB-S7-S*, *MRS*, *UBA*, *NBB* и др.). Лучше всего зарекомендовали себя на практике (благодаря надежному и быстрому выявлению всех микроорганизмов, вызывающих порчу пива, в сочетании с высокой избирательностью) сертифицированные питательные среды *NBB*, наиболее распространенные в пивоваренном производстве.

Мероприятия производственного контроля следует проводить систематически и регулярно, обеспечивая своевременное выявление «слабых мест». В инструкциях

по микробиологическому контролю указываются важнейшие точки отбора проб, а также соответствующие методы анализа. Общая схема микробиологического контроля приведена на рис. 7.1 (см. также главу 10, раздел 10.9.2).

7.9. Физиологическое действие пива

Пиво не только имеет приятный вкус и может утолять жажду, но и полезно для здоровья благодаря своей питательной ценности.

7.9.1. Пищевая ценность пива

Энергетическая ценность 12 %-ного пива составляет 1900 кДж (450 ккал)/л — независимо от типа пива — темного, светлого или даже диетического.

7.9.1.1. Содержание алкоголя у темного пива дает примерно половину, а у светлого около двух третей энергетической ценности. При содержании от 3,5 до 4,5 % масс. (4,4-5,5 % об.) тонизирующие и питательные свойства алкоголя оказывают благоприятное действие (при умеренном употреблении).

7.9.1.2. Экстрактивные вещества пива состоят в основном из легко усваиваемых углеводов, которые в процессе солодоращения и пивоварения переводятся в растворимую форму, разжижаются и превращаются в низкомолекулярные соединения. Аналогичные изменения происходят и с *азотсодержащими веществами*. Хотя содержание незаменимых аминокислот пива не способно решающим образом сказаться на питании человеческого организма, существует достаточное количество низкомолекулярных пептидов, которые

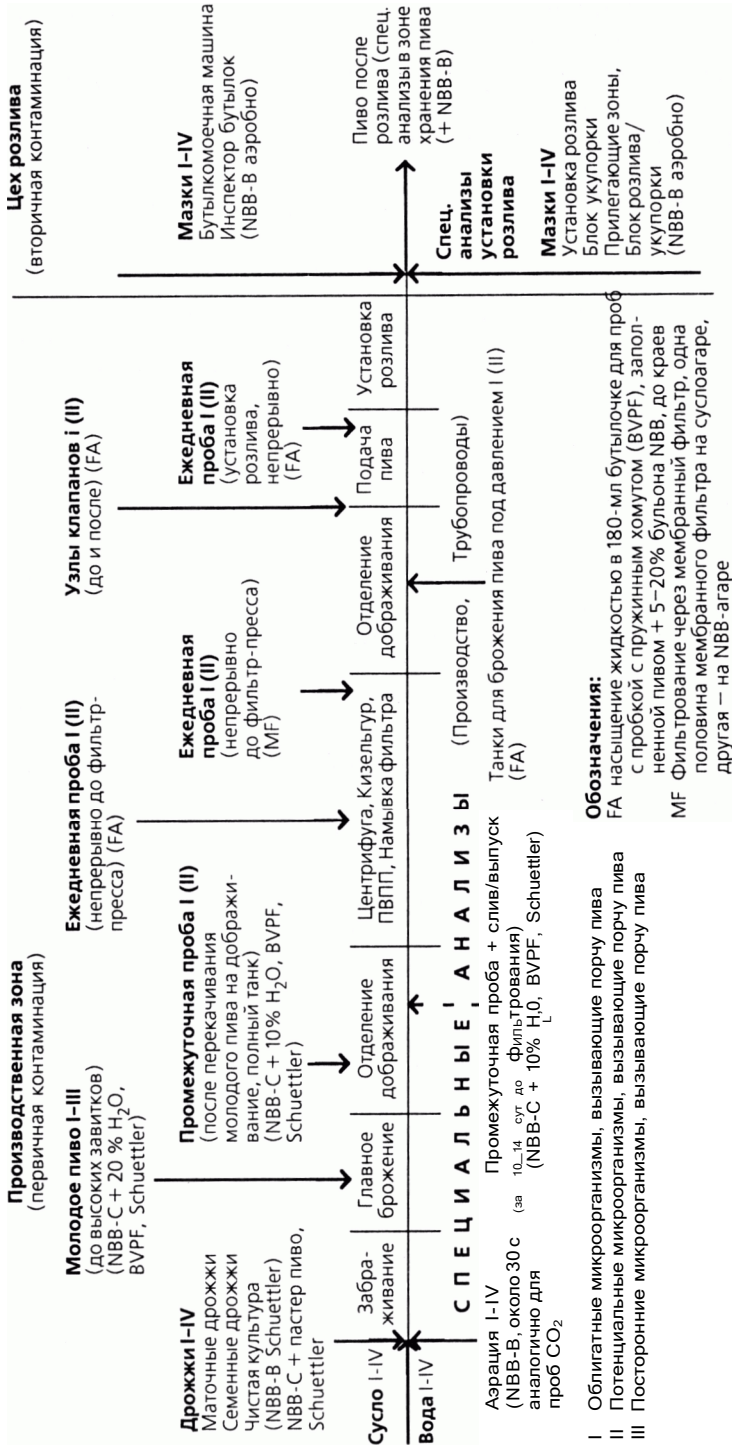


Рис. 7.1. Микробиологический контроль качества воды, безалкогольных напитков, пива и вина

легко им усваиваются. Из минеральных веществ в первую очередь следует отметить различные виды *фосфатов*, играющих большую роль в большинстве физиологических процессов. Вместе с *витаминами В*-комплекса, присутствующими в пиве, они повышают переносимость содержащегося в пиве алкоголя, стимулируют работу печени и препятствуют ожирению.

7.9.1.3. Свойства пива, позволяющие утолять жажду, обуславливает CO_2 , который, как и низкое содержание алкоголя в пиве и его горькие вещества, активизирует выделение желудочного сока.

7.9.2. Диетические свойства пива

Диетические свойства пива объясняются благоприятным соотношением содержания алкоголя и экстрактивных веществ пива, а также наличием фосфатов и витаминов. Экстрактивные вещества пива легко усваиваются, и пиво тем самым способствует перевариванию потребляемой с ним пищи. Пиво обладает мочегонным действием и тем самым обезвоживает ткани; небольшое количество алкоголя стимулирует дыхание и кровообращение, а также оказывает успокаивающее действие, особенно при нервных расстройствах. В пиве отсутствуют патогенные микроорганизмы, а горькие вещества хмеля (изогумулон) обладают противотуберкулезным действием (см. также раздел 7.1.1).

7.10. Специальные типы пива

Описание приготовления различных типов пива, например *Pilsener*, *Dortmunder* и *Muenchner* (пльзеньского, дортмундского

или мюнхенского) приведено в соответствующих разделах этой книги, как и характерные признаки пива типа *Maerzen* и *Bockbier*. О пиве верхового брожения см. главу 8. Тем не менее имеются некоторые типы пива, которые с трудом вписываются в существующую классификацию, так как способы их приготовления нацелены на получение совершенно конкретных свойств. Речь идет о низкокалорийном и диетическом пиве, а также о слабоалкогольном и безалкогольном пиве.

7.10.1. Слабоалкогольное пиво

7.10.1.1. Характерные признаки. В Германии светлое слабоалкогольное пиво типа *Pilsener* может содержать лишь 0,75 г балластных углеводов на 100 г пива. Содержание белков ограничивается 0,5 г/100 г пива. Для этого пиво с нормальной экстрактивностью начального сусла около 11-12 % должно быть сброжено до такой степени, чтобы видимая степень сбраживания составила более 100 %. Благодаря этому содержание спирта повышается с 3,8 % до 4,8-5,0 % масс, (с 4,7 до 5,9-6,2 % об.), а содержание действительного экстракта составляет около 1,8 %. Значение pH пива находится на уровне 4,2-4,5 (такое относительно низкое значение pH может также обусловить очень высокая степень сбраживания). Цветность колеблется в пределах 6-9 ед. ЕВС, а содержание горьких веществ на разных пивоваренных предприятиях варьирует от 22 до 40 ед. горечи ЕВС. Содержание CO_2 составляет 0,5-0,55 %, но несмотря на это пенообразующая способность такого пива оставляет желать лучшего.

7.10.1.2. Засыпь. Желательно использовать светлый, хорошо растворенный, богатый амилазой солод, уже в конгрессном

сусле дающий КСС намного выше 80 %. Цветность, учитывая сильное обесцвечивание при брожении, может составлять 3-3,5 ед. ЕВС. Внесение 2-5 % кислого солода или соответствующего количества молочной кислоты благотворно влияет на повышение буферности затора, сусла и пива.

7.10.1.3. Пивоваренная вода. Остаточная щелочность для надлежащего развития ферментативных реакций должна составлять менее 2 °dH (немецких градусов жесткости). Добавление хлористого кальция к заторной воде поддерживает действие амилаз.

7.10.1.4. Способ затирания. Для наиболее полного действия α - и β -амилаз затирание начинают с 45 °С, то есть ниже оптимальной для них температуры (см. раздел 2.3.1.1), после чего производят нагревание до температуры 62 °С (1 °С/мин) и выдерживают 30-минутную паузу. После отделения оставшейся части затора в ней необходимо поддерживать температуру порядка 62 °С. До кипения доводят отварку, составляющую четверть общего количества затора (с выдержкой пауз при 64, 66, 68 и 70 °С), которую кипятят 10-15 мин. Благодаря добавлению холодной воды к кипяченой части затора она остывает до такой степени, что после смешивания частей затора температура составляет 64-64,5 °С. После этого затор нагревают до температуры 73 °С (паузы при 64, 66, 68, 70 °С) и при этой температуре его перекачивают в фильтр-чай. В другом случае оставшуюся часть затора оставляют при температуре около 64 °С, а вторую отварку доводят до кипения с соблюдением указанных пауз, кипятят 10 мин и снова охлаждают путем добавления холодной воды до температуры

67 °С. С этого момента паузы проводят при 67 и 70 °С до температуры отзатирания 73 °С, которую в целях поддержания действия амилаз не повышают. Чтобы при таком способе затирания достичь видимой КСС 91-92 %, из седиментированной первой оставшейся части затора отбирают солодовую вытяжку (3 %), сохраняют ее при температуре 55-62 °С и добавляют к отфильтрованному суслу. Продолжительность этого способа затирания составляет 4,5-6 ч.

7.10.1.5. Фильтрование проводят при 72-73 °С, как и выщелачивание дробины. Концентрация первого сусла может составлять 16 %; фильтрование прекращают при концентрации промывных вод 1-1,5%.

7.10.1.6. Кипячение сусла и внесение хмеля. Сусло кипятят после окончания фильтрования в течение 90-120 мин, а в современных системах кипячения — несколько меньше; внесение хмелепродуктов вследствие интенсивного удаления смолистых веществ должно быть на 10-15 % выше, чем для пива с сопоставимыми значениями горечи. Целесообразной представляется средняя продолжительность кипячения 45-55 мин; соотношение горького и ароматического хмеля — такое же, как и у нормального пива типа *Pilsener*. Подкисление сусла должно ориентироваться на значение рН около 5,1, однако при брожении наблюдается снижение рН (снижение рН ниже 4,25 не допускается). С другой стороны, низкое значение рН сусла важно для проведения активного главного брожения, в том числе в диапазоне сбраживания более 90 %.

7.10.1.7. Брожение. После обычной обработки сусла дрожжи вводят при температуре 7-8 °С. Равномерное сбраживание

обеспечивают пылевидные дрожжи, но пригодны и хлопьевидные дрожжи с высокой сбраживающей способностью. При перекачивании из танка для внесения дрожжей или флотационного танка в бродильный аппарат добавляют 3 % солодовой вытяжки (см. ниже). Максимальную температуру брожения (9-12 °С) поддерживают до тех пор, пока содержание видимого экстракта не составит чуть более 1 %. В этом момент солодовую вытяжку вносят повторно (1,5-3 %). Когда полученный экстракт оказывается сброженным, в течение 24 ч проводят охлаждение примерно на 2 °С и перекачивают сусло в отделение дображивания при температуре 7-9 °С. Продолжительность дображивания составляет 7-10 сут. Нередко оказывается целесообразным осуществлять сбраживание в бродильном цехе до содержания видимого экстракта 0 % в условиях регулируемой температуры. Солодовую вытяжку отбирают в нужный момент времени из нормальной варки. Чтобы при этом наряду с амилазами «захватить» также предельную декстриназу (оптимальная температура 55 °С), применяют обычный двухотварочный способ затирания, а солодовую вытяжку отбирают во время обработки первой отварки из осевшей жидкой части затора при температуре 50 °С (см. раздел 2.3.3.2) и охлаждают.

Довольно трудоемкая технология использования солодовой вытяжки на некоторых пивоваренных производствах была заменена внесением солодовой муки с высоким содержанием амилазы (30 кг/100 гл).

7.10.1.8. Дображивание. Как правило, при температуре, медленно понижающейся с 9 до 7 °С, сбраживание экстракта до уровня от 0 до -0,3 % продолжается

2-4 нед. Затем продукт пропускают через охладитель в холодный танк и дображивают в течение 1-4 нед. при температуре около -1 °С с промывкой CO₂, полученным на самом производстве. При этом можно добавить стабилизатор (например, 50-80 г препарата кремниевой кислоты/гл).

Если в бродильном отделении сбраживание прошло до конца, то теплым хранением можно пренебречь и перекачать пиво на дображивание в холодное отделение с добавлением стабилизатора. Слишком длительное хранение придает пиву специфический эфирный привкус и ухудшает его способность к пенообразованию.

7.10.1.9. Стабилизация, фильтрация и розлив. Особое внимание следует уделять стабилизации, поскольку с солодовой вытяжкой пропорционально вносится большое количество высокомолекулярного коагулируемого азота. Наряду с добавкой стабилизаторов в танк для дображивания и созревания их следует также вносить при фильтрации (около 100 г/гл). Тем не менее в ходе последующей пастеризации бутылочного пива возможно появление белковой мути, образование которой можно предупредить путем кратковременной высокотемпературной обработки осветленного пива из цеха дображивания, для чего потребуется смена емкости с последующим осветлением. Если это проводить после окончательного созревания, то перемешивание, кратковременную высокотемпературную обработку и охлаждение, а также добавление стабилизатора можно выполнить одновременно. На участке от танка до розлива в бутылки необходимо избегать поглощения пивом кислорода. Пастеризация нужна для инактивации оставшихся ферментов.

7.10.1.10. Снижение содержания спирта. Так как высокое содержание спирта (до 5 % масс.) зачастую воспринимается как недостаток, его снижают различными способами — отгонкой в тонкослойном выпарном аппарате, аппарате с нисходящим потоком жидкости или путем сепарации в мембранных системах (например, в установках диализа или обратного осмоса, см. разделы 7.10.4.5 и 7.10.4.6). Применяют также кипячение части сброженной варки в суслотарном котле (этот способ является довольно энергозатратным и трудоемким, так как пиво с уже удаленным спиртом снова необходимо транспортировать в бродительный цех для смешивания и последующего направления на созревание или хранение). При других способах осуществляют значительное удаление спирта в одной партии так, чтобы можно было ее смешать с оригинальным пивом. Такие типы пива (с содержанием алкоголя 3,8 % масс. (4,7 % об.)) и действительного экстракта 1,8%) характеризуются расчетной экстрактивностью начального сусла около 9,4 %. Как показывает опыт, непосредственно сброженное слабоалкогольное пиво чуть слабее и сбраживается несколько быстрее, причем для него требуется меньше солодовой вытяжки или солодовой муки, чем для «нормального пива» с экстрактивностью начального сусла около 11,5 %.

7.10.2. Диетическое пиво

7.10.2.1. Характерные признаки. Диетическое пиво низового брожения, изготовленное только из солода, поступает на реализацию с маркировкой «слабоалкогольное» (при содержании алкоголя менее 1,5 %) или «безалкогольное» (при содержании алкоголя менее 0,5 %). Так как в последнее время содержание алкоголя

приводят в % об., то их стали использовать и в маркировке. При этом пиво сбраживают слабее, чем в том случае, когда предельное значение приводилось в % масс. Экстрактивность начального сусла очень темного пива составляет менее 12 %, видимая степень сбраживания в первом случае составляет не более 20 %, а в последнем — всего лишь 6,5–7,5 %. В зависимости от степени сбраживания значение pH пива составляет 4,7–4,9 (если не была проведена корректировка значения pH в сторону «нормального пива» с помощью кислого солода или подкисления молочной кислотой микробиологического происхождения). Цветность диетического пива составляет 60–80 ед. ЕВС, горечь — 6–10 ед. горечи ЕВС, содержание CO₂ — 0,4–0,5 %.

7.10.2.2. Засыпь солода составляет от 90 % темного солода и 10% светлого солода (включая 1 % жженого солода) до 12 % светлого карамельного солода, 70 % темного солода и 18 % светлого солода. Кроме того, кислый солод в количестве 3–6 % предназначается для снижения pH затора, сусла и пива.

7.10.2.3. Способы производства пива. В зависимости от выбора пивоваренной воды (жесткой или мягкой, по наличию) выбирают двухотварочный способ затирания с температурным режимом 35–50/70/77 °С (см. раздел 2.3.3.2). Для получения низкой КСС после горячего напуска первой отварки должна установиться температура 70 °С. Этой цели служат также высокие температуры осахаривания (72–76 °С) отдельных частей затора, которые кипятят 30 или 25 мин. Способы затирания солода со скачкообразным повышением температуры являются

общепринятыми (см. раздел 2.3.3.5). Продолжительность кипячения сусла обусловлена спецификой системы и составляет 70-110 мин; внесение хмелепродуктов производится за один раз (15-20 мг α -кислоты на 1 л горячего охмеленного сусла).

7.10.2.4. Брожение. При содержании алкоголя до 1,2 % масс. (1,5 % об.) и степени сбраживания около 8-10 % проводят быстрое охлаждение до температуры примерно 2 °С. При степени сбраживания 10-13 % пиво перекачивают через низкотемпературный охладитель на дображивание с температурой 0 °С, а затем проводят дображивание под шпунтовым давлением 0,4-0,5 бар до достижения степени сбраживания около 16-18%. Этот процесс длится 1-2 нед., однако при надлежащем контроле и использовании более высоких температур он может проходить быстрее. В конце проводят осветление с разгрузкой кизельгурового фильтра при помощи центрифуги.

При низком содержании алкоголя (менее 0,5 %) большое значение придается низкому значению рН сусла, которое путем совместного затирания кислого солода или (при необходимости) биологическим подкислением кипяченого сусла доводят до значения рН 4,9. Целесообразным может оказаться проведение сбраживания 10 %-го сусла в отделении дображивания до содержания алкоголя 0,6 %, а затем (перед осветлением) внесение 15 % концентрированного первого сусла из 30 % начального сусла. Это приводит к округлению вкуса пива (не в последнюю очередь благодаря образованию продуктов реакции Майяра в процессе концентрирования). Корректировка цветности может проводиться с помощью красящего пива.

7.10.2.5. Розлив. Для предотвращения размножения дрожжей и брожения в бутылке обязательной является полная пастеризация, при которой пиво в бутылках пастеризуют 20 мин при температуре около 75 °С.

В настоящее время получило большую популярность «солодовое пиво» (или «солодовый напиток»), но поскольку из-за необходимого добавления сахара (что обусловлено технологическими особенностями) оно должно изготавливаться способом верхового брожения, то мы его рассмотрим далее в главе 8, посвященной пиву верхового брожения.

7.10.3. Безалкогольное пиво

В соответствии с действующими нормативными актами содержание алкоголя в таком пиве не должно превышать 0,5 %. По правилам маркировки на этикетке содержание алкоголя приводится в % об.

В последние годы безалкогольное пиво получило широкое распространение. Его можно классифицировать по типу пива как пиво низового или верхового брожения, а также по способу приготовления: или брожение ведут до получения содержания спирта 0,5 % об., или из нормально сброженного пива спирт впоследствии удаляют.

7.10.4. Способы ограничения содержания спирта

Различают прекращение брожения при достижении степени сбраживания, примерно соответствующей 0,5 % об., сбраживание с помощью дрожжей, не способных перерабатывать мальтозу или мальтотриозу, и двухступенчатое сбраживание — сначала с помощью молочной кислоты, а затем дрожжей.

7.10.4.1. Прекращение брожения, называемое также *способом остановки брожения*, изначально основывалось на приготвлении сусла с особыми свойствами. Экстрактивность начального сусла этих видов безалкогольного пива, исходя из требований к вкусу, составляет 7-8 %, однако позднее выяснилось, что при экстрактивности 6-6,5 % и ниже у такого пива отмечается улучшение вкусовых показателей. У более жидкого сусла привкус сусла проявляется меньше.

Засыпь солода подбирают так, чтобы готовый продукт имел цвет, соответствующий цвету продукции, выпускаемой на данном предприятии. Учитывая разбавление примерно на 40 %, большая часть засыпи состоит из солода венского типа (цветность 5 ед. ЕВС), к которому добавляют около 10% карамельного солода (5 % — с цветностью 25 ед. ЕВС и 5 % — с цветностью 4 ед. ЕВС) и остаток из солода пльзеньского типа. Венский тип солода придает пиву насыщенный вкус без оттенка аромата солода мюнхенского типа. Светлый карамельный солод характеризуется карамельным оттенком вкуса, однако благодаря соответствующему процессу обжарки в нем меньше ароматических веществ, чем в мюнхенском солоде. Светлый и очень светлый карамельный солод способствует формированию гармоничности вкуса пива. В случае недостаточной производительности установки биологического подкисления целесообразно вносить около 3 % кислого солода (значение pH затора — 5,4-5,5).

При таком способе требуется получить 12 %-ное сусло. Желательно, чтобы разбавление соответствующим образом подготовленной водой проводилось лишь перед измерением плотности холодного сусла или перед доливом пива до стадии фильтрации (см. раздел 9.2).

Свойства пивоваренной воды должны соответствовать конкретному типу пива, причем гармоничности вкуса пива способствуют остаточная щелочность порядка 5 °dH с одновременным биологическим подкислением или внесение кислого солода. Способ затирания — преимущественно декокционный с 1-2 отварками, причем преследуется цель получения немного более низкой КСС путем пропуска температуры образования мальтозы. Для этой цели хорошо подходит температурный режим 35/70/77 °C (см. раздел 2.3.3.2); отдельные части затора осахариваются при температуре около 75 °C. Способ затирания солода со скачкообразным повышением температуры, описанный в разделе 2.3.3.4, снижает видимую КСС до величины ниже 65 %. Засыпь затирают густо, то есть в соотношении 1 : 2 при температуре 45 °C с продолжительностью паузы около 30 мин. Затем затор перекачивают в кипящую воду (1 : 2,7), и в результате ферменты инактивируются, а сохранившегося остатка α -амилазы достаточно для расщепления крахмала солода до декстринов в течение часовой паузы при 73 °C (нормальная окрашенность по йоду не достигается).

Концентрация первого сусла при затирании солода со скачкообразным повышением температуры составляет около 14 %, но чтобы пиво из этого сусла было немного мягче, ее выбирают чуть меньшей.

Кипячение сусла при интенсивном испарении должно обеспечивать достаточное удаление из сусла ароматических веществ, так что для всех систем кипячения рекомендуется увеличение продолжительность кипячения на 10-15 %. Внесение хмеля осуществляется для придания пиву хмелевого аромата, причем в качестве

первой дозы при перекачивании в суслотарочный котел вносят только ароматические сорта хмеля; вторую дозу добавляют через 10 мин после начала кипячения сусла, а третью — за 25-30 мин до его окончания. Если хмелевой аромат является нежелательным, то используют экстракт хмелевых смол без хмелевых масел. Внесение молочной кислоты микробиологического происхождения проводят относительно поздно, чтобы не мешать расщеплению предшественника ДМС. Часть ее вносят для получения значения pH 4,9-5,0 за 15-20 мин до окончания кипячения, а вторую порцию (для корректировки pH до 4,5) — примерно через 10 мин. При этом важно, чтобы значение pH получаемого затем пива составляло 4,4-4,5.

Целесообразно использовать вакуумный охладитель. Здесь возможны два варианта его расположения — в трубопроводе для перекачивания готового сусла в вихрь или танк для горячего сусла (см. раздел 2.7.7.4) или после пластинчатого теплообменника. Хотя часть теплоты теряется вследствие испарения воды, положительное влияние его применения на вкусовой профиль получаемого пива подтверждается аналитически. В первом случае также уменьшается дополнительная изомеризация. В общем случае выход горьких веществ у сусла для безалкогольного пива невысок, так что расположение охладителя в трубопроводе для перекачки готового сусла в этом смысле (и из-за худшей седиментации осадка взвесей сусла) может оказаться проблематичным.

Норма внесения хмеля может очень сильно варьировать в зависимости от желаемой степени горечи — 20-22 или 28-30 ед. горечи ЕВС. Перед проведением анализа холодного сусла для кор-

ректировки желаемой экстрактивности начального сусла в него добавляют микробиологически чистую пивоваренную воду.

Брожение в сусле с седиментированными взвесями холодного сусла после продувки CO_2 или сусле, полученном методом холодного фильтрования, должно продолжаться по возможности несколько суток. Семенные дрожжи задают в количестве 15-25 млн клеток при температуре сусла 4-6 °C. Для предупреждения попадания спирта дрожжи промывают. Через 48-72 ч при экстрактивности начального сусла 7,2 % достигается степень сбраживания около 10 %, соответствующая содержанию спирта 0,45 % об. При экстрактивности начального сусла 5,5 % это соответствует примерно 14 %. Прерывание брожения осуществляют или путем центрифугирования (количество дрожжевых клеток следует снизить до 0,1 млн), или с помощью фильтрования, после чего сусло охлаждают до 0... -1 °C и карбонизируют до содержания CO_2 около 0,5 % (с помощью CO_2 , полученного непосредственно на производстве). *Дображивание* при этой температуре продолжается 14-21 сут, причем для удаления ароматических веществ хмеля производят многократную продувку CO_2 (через каждые 24 ч в количестве 3 г/гл в час).

Фильтрование осуществляется с добавлением около 50 г силикагеля/ггл и с последующей ПВПП-стабилизацией (50 г ПВПП/ггл) и контрольным фильтрованием. Обычно содержание CO_2 корректируют до 0,48-0,53 %. Пастеризованное в бутылках пиво хотя и достигает желаемой стойкости за 6 теплых дней (0/60/0 °C), однако, как правило, в нем образуется легкий, почти незаметный придонный осадок. Неприятным моментом

является хлопьеобразование в уже отфильтрованном пиве из-за проведения фильтрования безалкогольного пива после «нормального» сорта пива, недостаточной адсорбционной способности фильтрующих слоев или перехода в пиво ионов (кальция, оксалатов) после предварительной обработки фильтра. Сильная дополнительная карбонизация может привести к оседанию белка на поверхности пузырьков CO_2 . Основанием для рекламаций может стать также темный налет хмелевых смол, образующийся обычно в горлышке бутылки (в этом случае следует улучшить изомеризацию α -кислот).

7.10.4.2. Непрерывный способ производства при помощи иммобилизованных дрожжей (в биореакторе). Реактор заполняют носителем из диэтиламиноэтилцеллюлозы (DEAE-целлюлозы) или пористых шариков, на который подаются нормальные дрожжи низового брожения. Сусло, приготовленное описанным выше способом, направляют через реактор, причем в зависимости от расхода достигается содержание спирта от 0,05 до 0,5 % об. Относительно большое количество дрожжей вызывает восстановление карбонильных соединений сусла до соответствующих спиртов, так что несмотря на прерывание брожения происходит довольно существенное уменьшение типичного привкуса сусла. Обработанное таким способом «пиво» охлаждают, карбонизируют, выдерживают несколько суток на холоде, после чего фильтруют, стабилизируют, проводят розлив и пастеризуют (см. раздел 3.6.3.10).

7.10.4.3. Сбраживание специальными дрожжами. Дрожжи, например, *Saccharomyces ludwigii*, сбраживающие только моноса-

хариды и сахарозу, можно использовать и для приготовления безалкогольного пива. Сбраживание сусла, полученного по описанным выше методам, проходит очень медленно, из-за чего может происходить его инфицирование, например, культурными дрожжами или бактериями сусла. Хотя урожай дрожжей невелик из-за плохой седиментации дрожжей, их можно собрать в процессе последующего фильтрования для получения нужной степени сбраживания. Как бы то ни было, текущее разведение дрожжей необходимо. Этот способ является довольно трудоемким, а качество получаемого пива не всегда однородно, однако с помощью биологического подкисления его можно улучшить.

7.10.4.4. Молочнокислородное брожение с последующим внесением дрожжей. Данный двухступенчатый способ сбраживания подразумевает, что неохмеленное сусло с экстрактивностью начального сусла около 10 % для стерилизации доводят до кипения в суслотарном котле, а затем охлаждают до 35-37 °С. Затем его засевают молочнокислыми бактериями и проводят подкисление до значения pH 4,1-4,2. Кислое сусло направляют в котел и в зависимости от системы кипячения кипятят с хмелем (гранулированным ароматическим, 10 г α -кислоты/г) в течение 70-100 мин. После осаждения взвесей сусла в вирпуле, корректировки экстрактивности начального сусла до значения 6-7 % и частичного удаления осадка взвесей холодного сусла проводят сбраживание до получения содержания алкоголя около 0,5 % об., дображивание и т. д.

Благодаря предшествующему молочнокислому брожению приготовленное таким способом пиво получается более чистым, «пивоподобным» и, что примечательно,

со стойким вкусом. Недостатком данного метода является двукратное кипячение сула, из-за чего стерилизацию приходится проводить в аппарате для кратковременной высокотемпературной пастеризации.

7.10.4.5. Состав пива, приготовленного способом прерывания брожения, в зависимости от использования дрожжей низового или верхового брожения несколько отличается; такие свойства, как, например, вкусовой оттенок дрожжей в пшеничном пиве оттеняется еще преобладающим привкусом сула. Проблема выбора дрожжей для производства пшеничного пива состоит в быстром увеличении содержания 2-ацетолактата при брожении, причем более благоприятна температура 12 °С. Чем глубже проходит брожение при допустимом содержании алкоголя, тем больше образуется нужных побочных продуктов брожения и тем интенсивнее сокращается содержание ароматических веществ сула (см. табл. 7.5).

7.10.5. Физические методы удаления спирта

Различают методы дистилляции в вакууме с помощью тонкослойного выпарных аппаратов, выпарных аппаратов с нисходящим потоком жидкости или противоточных выпарных аппаратов, а также мембранные методы (диализ или обратный осмос).

Эти методы можно комбинировать между собой, а также получать безалкогольное пиво путем смешивания с пивом, получаемым способом прерывания брожения.

7.10.5.1. Тонкослойный выпарной аппарат с вращающимися поверхностями нагрева. В этом случае применяется сочетание действия теплообмена и центробежной силы, возникающей в результате вращения конической поверхности нагрева. Вращение способствует созданию на поверхности нагрева очень тонкого слоя пива (с толщиной пленки 0,2 мм), и в ходе непродолжительного контакта (менее 1 с)

Таблица 7.5. Состав сула в зависимости от типа используемых дрожжей

Показатель	Тип дрожжей	Низовые дрожжи	Верховые дрожжи	Специальные дрожжи	Биореактор
Концентрация начального сула, %		7,0	7,4	6,5	6,5
Содержание этилового спирта, % об.		0,50	0,48	0,47	0,48
Значение pH		4,25	4,45	4,35	4,25
Содержание горьких веществ, ед. горечи ЕВС		22,0	15,0	24,0	27,0
Общее содержание алифатических спиртов, мг/кг		10,0	11,0	7,0	3,0
Содержание 2-фенилэтанола, мг/кг		2,0	3,5	1,0	1,0
Общее содержание эфиров уксусной кислоты, мг/кг		4,7	4,1	4,3	0,3
Общее содержание жирных кислот, мг/кг		2,1	3,5		2,0
Содержание 2-метилбутанола, мкг/кг		25,0	25,0	23,0	10,0

из пива выпаривается спирт. Частично деалкоголизованное пиво подается насосом по трубопроводу в пластинчатый охладитель и охлаждается, и спиртосодержащие пары конденсируются. Температура продукта во время дистилляции поддерживается на уровне 38 °С.

7.10.5.2. Выпарной аппарат с нисходящим потоком жидкости также представляет собой тонкослойный выпарной аппарат, в котором на внутренних стенках вертикальных трубок образуется тонкая стекающая пленка. Трубки нагреваются равномерной подачей пара, при этом пар конденсируется на внешней стороне трубок. Образующиеся спиртосодержащие пары подаются по каналу для смеси на сепаратор и отделяются там от захваченного с ними пива. Благодаря регулировке разрежения температура пива поддерживается в пределах 36–40 °С.

В ходе таких процессов испарения концентрация пива повышается. В одной установке для получения содержания спирта в пиве 0,6 % отводилось в виде водяного пара почти 40 %, а для получения содержания спирта до 0,3 % — даже около 60 % первоначального количества жидкости. Содержание CO_2 в пиве желательно поддерживать достаточно низким, поскольку диоксид углерода скапливается на поверхностях теплообменника.

7.10.5.3. Противоточная дистилляция/ректификация. Аппарат состоит из пластинчатого теплообменника для нагревания пива до температуры испарения около 42 °С. Из пива в дегазаторе в условиях вакуума удаляется CO_2 с превращением летучих ароматических веществ (высших спиртов и эфиров). Пиво подается сверху через перегонную секцию колонны, накапливается там при температуре

около 46 °С и поступает через выпарной аппарат с нисходящим потоком жидкости. Спиртосодержащие пары устремляются в ректификационной колонне навстречу жидкости и проходят через конденсатор, в верхней части которого их концентрация достигает примерно 75 %. Пары спирта в конденсаторе осаждаются. Деалкоголизованное пиво направляется в пластинчатый теплообменник и охлаждается в нем до 0 °С. Диоксид углерода, скопившийся в дегазаторе, поступает по трубопроводу в аппарат для очистки ароматических веществ и промывается деалкоголизованным пивом или водой. Сгущения пива в этом аппарате не происходит.

Для испарительных установок важно, чтобы пиво не подвергалось термической нагрузке вследствие действия очень высоких температур при слишком длительных периодах выдержки. Недостаток значительного выпаривания «ценных» ароматических веществ, в частности уксуснокислых эфиров и высших алифатических спиртов, компенсируется возможностью получения пива с содержанием спирта 0,1 %. Это позволяет благодаря смешиванию с исходным пивом (обычно около 6 % об.) вновь вводить ароматические вещества, получая тем самым более округлый вкус. Описанный способ противоточной дистилляции/ректификации иногда дополняют смешиванием ароматических веществ из скруббера, что проявляется в относительно более высоком содержании высших спиртов и эфиров (см. табл. 7.5).

7.10.5.4. Метод диализа. При этом мембранном процессе разделения массообмен происходит благодаря градиенту концентрации. Мембрана разделяет пиво на деалкоголизованный продукт и диализат.

Между ними перепад давления отсутствует, но наблюдается разная концентрация спирта. В остальном продукт и диализат характеризуются практически одинаковым составом, так что другие вещества (в отличие от спирта) не могут диффундировать через мембрану. Продукт проходит через мембранный модуль в противотоке к диализату, и содержание спирта в нем уменьшается. Из насыщенного спиртом диализата он удаляется с помощью вакуумного дистилляционного аппарата, а деалкоголизованный диализат возвращается в контур для диализа. По экономическим соображениям удаление спирта до его содержания более чем 0,5 % об. является нецелесообразным. Преимущество данного метода состоит в том, что в деалкоголизованном продукте сохраняется первоначальное содержание CO_2 при минимальных потерях других компонентов. По сравнению с методом дистилляции остаточное содержание высших спиртов и эфиров немного выше.

7.10.5.5. При *обратном осмосе* массообмен через мембрану обеспечивается за счет перепада давления. Мембраны с соответствующим размером пор являются проницаемыми для молекул меньшего размера (солей, воды и спирта), если разность давлений между стороной ретентата и стороной пермеата больше осмотического давления разделяемой жидкости (принцип обратного осмоса). При удалении спирта из пива используются давление 30 и 45 бар и температуры от 5 до 15 °С. Принцип работы здесь такой же, что и у тангенциально-поточных фильтров (см. раздел 4.4). Пиво после удаления спирта имеет более высокую концентрацию, чем конечный продукт. Для корректировки экстрактивности начального сусла (и содержания спирта)

его смешивают с деминерализованной (с помощью обратного осмоса или ионообменника) и деаэрированной водой (содержание O_2 менее 0,1 мг/кг) и насыщают CO_2 . В этом случае в безалкогольном пиве сохраняется несколько больше высших спиртов и эфиров, чем в пиве, полученном методом дистилляции.

По экономическим соображениям и при данном методе удаление спирта до его содержания более чем 0,5 % об. является нецелесообразным.

7.10.5.6. В технологии производства безалкогольного пива при использовании *дистилляционных методов*, когда вместе со спиртом удаляется и вода, может оказаться целесообразным разбавление пива до исходной концентрации с помощью деаэрированной и декарбонизированной воды, которое проводят не до значения действительного начального экстракта, например 4 %, а до экстрактивности 5-5,5 %. Это позволяет придать пиву большую полноту вкуса. Вместе с тем в равной степени важно сократить содержание в пиве продуктов, образующихся под действием термической нагрузки путем оживления дображивания пивом в стадии низких завитков или с помощью подмешивания 4-6 % исходного пива.

Еще одной возможностью является проведение отдельных варок, предназначенных для процесса удаления спирта, с повышением их концентрации до 13-14 % и/или снижения КСС. При этом достигается двойная выгода: с одной стороны, благодаря остаточному содержанию экстрактивных веществ пиво больше сохраняет «тело», а с другой — содержание спирта снижается, в связи с чем требуется удалять меньше спирта.

Подобную технологию обычно применяют тогда, когда пиво уже не может

купажироваться завитками или нормальным пивом (как, например, при мембранном фильтровании пива).

Безалкогольные типы пива содержат не так много горьких веществ, как оригинальное пиво типа *Pilsener* данного предприятия, в связи с чем целесообразно осуществлять специальные варки с меньшим содержанием горьких веществ или использовать для удаления спирта специальные сорта пива. Наряду с повышенным остаточным содержанием экстрактивных веществ они вносят больше высших спиртов и эфиров, из которых, правда, лишь относительно малая доля остается в безалкогольном пиве.

С учетом этого пиво, предназначенное для удаления спирта, зачастую сбраживают при повышенных температурах, вследствие чего образуется больше побочных продуктов брожения. Ограничить содержание CO_2 , который во многих методах дистилляции является нежелательным, способно также «теплое» созревание.

При купажировании пива с остаточным содержанием спирта 0,1-0,25 % завитками в пиво хотя и вносятся букетобразователи молодого пива, но тем самым пиво приобретает определенную свежесть и гармоничность. Правда, такое пиво нуждается в повторном созревании и последующем фильтровании. При смешивании с нормальным отфильтрованным светлым пивом низового брожения промежуточное хранение не требуется.

У пшеничного пива добавка завитков может привести питательные вещества для определенного отрезка вторичного («бутылочного») брожения (см. раздел 8.3.6.3). Из 6 % завитков получается около 0,5 % экстракта, который быстро сбраживается в условиях хранения при температуре 12-18 °С и повышает

содержание CO_2 примерно на 0,25 %. Таким образом, постоянно требуется дополнительная карбонизация. Последний из описанных методов дистилляции позволяет благодаря наличию дополнительной компрессорной установки напрямую добавлять вытесненный и промытый CO_2 . При диализе содержание CO_2 в пиве сохраняется в нужных пределах, и перед розливом его следует лишь скорректировать.

Показатели безалкогольного пива, приготовленного по методу удаления спирта, представлены в табл. 7.6.

Типы пива верхового брожения после удаления спирта сохраняют больше ароматических веществ. При этом речь идет о высокомолекулярных летучих веществах и о веществах, проходящих сквозь мембраны хуже этилового спирта. Как видно из приведенной таблицы, происходит инверсия более ценных ароматических веществ в ароматические спирты, и особенно в жирные кислоты и их эфиры. Это обстоятельство является также причиной того, что пиво после удаления спирта может приобретать специфический привкус, из-за чего уже в процессе приготовления исходного пива необходимо принять все меры для обеспечения низкого содержания жирных кислот и их эфиров (например, путем применения физиологически безупречных дрожжей и создания благоприятных условий для брожения и дображивания). Нередко в пиве присутствует «вареный» привкус, подтверждаемый данными химического анализа (существенное повышение содержания фурфурала, метилбутанала ит. д.). Для поддержания содержания среднемолекулярных жирных кислот и их эфиров на низком уровне важно, чтобы при брожении и дображивании отсутствовали факторы, вызывающие выделение дрожжами свободного аминного

Таблица 7.6. Характеристики безалкогольного пива, приготовленного методом удаления спирта

Показатель	Метод	Дистилляция			
		Диализ	До 0,5% этанола	+ аром, в-ва и про-мывка CO ₂	0,1% этанола + аром, в-ва + 6% завитков
Экстрактивность начального сусла, %		5,3	5,16	5,00	5,12
Экстракт, %		4,12	3,91	3,86	3,92
Спирт, % об.		0,48	0,48	0,50	0,49
Значение рН		4,55	4,75	4,78	4,70
Содержание горьких веществ, ед. ЕВС		28,0	27,0	27,5	28,5
Общее содержание высших алифатических спиртов, мг/кг		4,4	2,8	9,0	19,0
Общее содержание эфиров уксусной кислоты, мг/кг		1,3	0,3	3,8	7,7
Содержание 2-фенилэтанола, мг/кг		21,0	18,0	20,0	22,0
Общее содержание жирных кислот, мг/кг		5,0	4,0	4,0	3,5
Содержание 2-метилбутанола, мкг+кг		8	12	11	5

азота, жирных кислот и их эфиров (см. раздел 3.2.6.6).

Еще одна возможность состоит в том, чтобы с помощью разделения фаз продукты брожения из «нормального пива» связывались в колоннах соответствующим адсорбентом. Эти ароматические вещества затем вымывают спиртом, для чего в Германии разрешается использовать спирт только из собственной установки деалкоголизации. В рассмотренном в разделе 7.10.5.3 аппарате противоточной дистилляции/ректификации в качестве побочного продукта образуется спирт концентрацией 75 %, который можно использовать для решения этих задач в «закрытой системе». Для других аппаратов необходима дополнительная ректификационная установка.

7.10.6. Сочетание различных способов приготовления безалкогольного пива

7.10.6.1. Сочетание пива, полученного методом прерывания брожения, с безалко-

гольными продуктами. Так как безалкогольное пиво зачастую характеризуется некоторой «пустотой» и резкостью вкуса, то его купажирование с пивом, полученным методом прерывания брожения, может способствовать формированию большей гармоничности, мягкости и округлости вкуса. Нередко 15-35 % такого пива смешивают с безалкогольным пивом. В этих целях пиво, приготовленное по методу прерывания брожения, следует готовить крайне добросовестно с добавлением специального солода, биологическим подкислением, а при определенных условиях с последующим разбавлением для устранения привкуса сусла. Если такое пиво пропустить через установку по удалению спирта, то «условый» характер пива уменьшается еще сильнее. С другой стороны, удаление спирта позволяет проводить более полное сбраживание, то есть до содержания спирта 1,5 %, получая тем самым более чистый вкус.

15 % пива (содержание алкоголя 0,5 %), полученного методом прерывания брожения, при экстрактивности начального

сусла 7 % привносят в получаемый продукт еще 0,15 x 4,2, то есть почти 0,6 % сбраживаемого экстракта. Чтобы избежать размножения дрожжей в бутылке, требуется биологическая стабилизация в установке для кратковременной высокотемпературной обработки и холодный стерильный розлив (см. раздел 5.4). При купажировании в более высоких пропорциях рекомендуется применять туннельный пастеризатор.

7.10.6.2. Сочетание разных методов удаления спирта. Чтобы соответствовать возросшим требованиям к безалкогольному пиву, в большинстве случаев существующая мембранная установка может быть дополнена дистилляционной, где удаляются преимущественно побочные продукты брожения (в частности, высшие спирты и сложные эфиры). С другой стороны, дистилляционная установка позволяет осуществить более глубокое удаление спирта, чем с помощью мембранных технологий. Тем самым становится возможным проведение купажирования с исходным пивом (см. раздел 7.10.5.6) и достижение баланса ароматических соединений.

7.10.6.3. Диетологические свойства безалкогольного пива. Производимое безалкогольное пиво, как мы уже отмечали, не является абсолютно безалкогольным. Тем не менее содержание спирта менее 0,5 % об. в физиологическом плане вредным не является. Так, например, потребление 2 л такого пива в течение 90 мин не вызывает повышения содержания алкоголя в крови. Во фруктовых соках, соко-содержащих напитках и нектарах, в хлебе и фруктах также присутствует незначительное количество спирта, так что в пищевых продуктах природного происхож-

дения абсолютного отсутствия спирта не бывает.

В безалкогольном пиве существенно меньше калорий, чем в «нормальном». Если в 7-7,5 %-ном пиве, полученном методом прерывания брожения, содержится 270-290 ккал/кг (1140-1215 кДж), то в безалкогольном пиве существенно меньше (165-220 ккал или 690-920 кДж). При больших физических нагрузках (тяжелый физический труд, занятия спортом) большую роль играет «осмотичность» напитка. Эта «осмотичность» связана с осмотическим давлением сыворотки крови (около 290 ммоль/кг), причем напитки, имеющие такое же осмотическое давление, что и кровь, называют изотоническими, напитки с существенно меньшим осмотическим давлением — гипотоническими, а с существенно большим — гипертоническими. «Осмотичность» безалкогольного пива, полученного методом прерывания брожения, является практически изотонической, а осмотичность такого же пива, приготовленного методом удаления спирта, — гипотонической. Изотонические напитки позволяют быстро возместить израсходованные организмом жидкости (воду), углеводы, минеральные вещества, аминокислоты и т. д., благодаря чему поддерживается физическая работоспособность. Содержание минеральных веществ у 7 %-ного пива примерно на 40 % ниже, чем у 12 %-ного пива, как и содержание пуринов.

7.10.6.4. Согласно нормативным актам многих стран может потребоваться приготовление практически безалкогольного пива. Хотя на дистилляционных установках и достигается остаточное содержание спирта в 0,1-0,2 %, это может не соответствовать требуемым показателям (0,01-0,02 %). В таком случае для пива, пригото-

ленного методом прерывания брожения, наиболее целесообразным является дополнительное удаление спирта в дистилляционной установке до содержания спирта 0,01 %. Такое пиво практически уже не содержит высших алифатических спиртов и сложных эфиров, имеет нейтральный вкус и обладает менее выраженной «условной» нотой по сравнению с аналогичным продуктом с содержанием спирта 0,5 % об.

Аналогичный безалкогольный напиток можно получить с помощью биореактора (см. раздел 3.6.3.11).

При так называемом «холодном введении дрожжей в сусло», когда дрожжи в количестве около 30-106 клеток вносят в сусло, охлажденное до 0 °С, благодаря большой поверхности дрожжей происходит целый ряд восстановительных процессов, подавляющих вкус сусла. Отделение дрожжей или фильтрование производят еще до проявления первых признаков брожения. Дополнительную обработку осуществляют по способу, описанному в разделе 7.10.4.1.

7.10.6.5. Некоторые экономические аспекты. Освобождение безалкогольного пива от налогообложения является существенной льготой, позволяющей комбинировать между собой типы пива, приготовленные из разного начального сусла. Это дает широкие возможности применения технологических инноваций. Пиво, получаемое методом прерывания брожения, имеет самую низкую себестоимость, а пиво, полученное мембранным фильтрованием, — самую высокую. При дистилляции и ректификации доход от реализации регенерированного 75 %-ного спирта мог бы дать существенный экономический эффект, но будучи «спиртом, полученным из сельскохозяй-

ственных продуктов третичной переработки», он не разрешен для потребления человеком; использование этого спирта для производства чистого спирта ограничивается наличием разрешения на производство алкоголя, так что этот ценный спирт можно использовать лишь как денатурированный спирт или в качестве топлива (после уплаты акциза на нефтепродукты) при условии соблюдения соответствующих нормативных актов.

Себестоимость безалкогольного пива зависит от применяемой системы удаления спирта, от степени снижения содержания спирта (менее 0,5 % об.), что позволяет купажировать это пиво с нормальным пивом или завитками, от загрузки установки, от дополнительных мероприятий и т. д. Приготовление 7 %-ного сусла может сэкономить 40 % стоимости солода, причем эта экономия частично нивелируется более низким выходом хмеля и туннельной пастеризацией. При использовании физических методов удаления спирта затраты увеличиваются. Издержки, связанные с применением метода противоточной дистилляции с ректификацией, могут быть частично возмещены доходами от реализации 75 %-ного спирта.

7.10.6.6. Розлив безалкогольного пива. Безалкогольный продукт после удаления спирта карбонизируют, фильтруют, получают требуемое содержание CO₂, подвергают кратковременной высокотемпературной обработке и в стерильных условиях проводят розлив в бутылки (или проводят пастеризацию в бутылках). Из-за низкого содержания спирта такое пиво более подвержено инфицированию микроорганизмами. В пиве, полученном методом прерывания брожения, присутствует еще большое количество несброженного экстракта, вследствие чего для него требуется

пастеризация, что отражается на экономических показателях. При купажировании безалкогольного пива с 10-15 % пива, приготовленного методом прерывания брожения, можно применять кратковременную высокотемпературную обработку с последующим стерильным розливом, однако при более высокой доле последнего решение о способе пастеризации следует принимать исходя из производственных условий.

7.10.7. Легкое пиво

7.10.7.1. Определение. «Легким» пивом называют пиво с экстрактивностью начального сусла 7-9 % (прежнее правило, гласившее, что «в легком пиве на 40 % меньше спирта или его энергетическая ценность на 40 % меньше, чем у пива типа *Pilsener* или у основного сорта пива данного пивзавода», чаще всего не оставляло свободы действий). Обычный ассортимент легкого пива включает преимущественно пиво с экстрактивностью начального сусла 7,1-7,4% и содержанием спирта около 2,8 % об. Нередко заявляют о 50 %-ном снижении содержания спирта или о принадлежности данного пива к «слабоалкогольному». Легкое пиво может быть как низового, так и верхового брожения.

7.10.7.2. Способы приготовления легкого пива.

- Легкое пиво проще всего готовить с экстрактивностью начального сусла 7,1-7,4 %, принимая меры для сбалансирования этой низкой экстрактивности начального сусла в плане большей гармоничности и полноты вкуса и соответствующей игристости. Недостижение указанного значения экстрактивности начального сусла нежелательно с точки зрения вкуса.

- У пива, изначально приготовленного с плотностью около 11,2-11,8%, содержание спирта может быть снижено примерно до 50 % с помощью одной из установок для удаления спирта, описанных в предыдущем разделе. Если по старым нормативным актам в области налогообложения с этих типов пива налог взимался как с «нормального пива», то в настоящее время такое пиво классифицируется по фактической экстрактивности начального сусла, зафиксированной при выпуске пива (например, 8,8 %).

- Благодаря особым технологическим мероприятиям (засыпи солода и специальным способам затирания, в частности, затиранию со ступенчатым повышением температуры, см. раздел 2.3.3.5) КСС пива (7-8 %) снижают до такой степени, что она оказывается столь низкой, что позволяет получить лишь 50 %-ное содержание спирта по сравнению с его содержанием в нормальном пильзенском пиве.

- Еще одна возможность заключается в том, что за счет значительного удаления спирта пиво переводится в класс «слабоалкогольного пива».

7.10.7.3. Приготовление легкого пива с экстрактивностью начального сусла около 7%.

Засыпь. Чтобы получить цвет, примерно соответствующий цвету основного сорта светлого пива, цвет солода следует выбрать так, чтобы он был несколько темнее (на коэффициент $12/7 = 1,7$), то есть вместо цветности 3,0-3,3 ед. ЕВС использовать солод с цветностью 5-5,5 ед. ЕВС. Так, вместо «пильзенского» солода можно воспользоваться «венским», причем он должен быть однородным, а не состоять из смеси светлого и темного солода. Для обеспечения безупречной перера-

ботки в затор вводят около 30 % светлого солода, а для компенсации цвета — 5-6 % светлого карамельного солода (цветностью 25 ед. ЕВС). Если требуется добиться большей полноты вкуса, то дополнительно предусматривают внесение еще 5-6 % очень светлого (цветностью 4-5 ед. ЕВС) карамельного солода. Засыпь солода можно изменять в широких пределах в зависимости от желаемого оттенка вкуса пива. В случае отсутствия установки для биологического подкисления или если она слишком мала для дополнительного подкисления затора, то следует применять кислый солод в количестве 3-6%.

Пивоваренная вода. Используют обычную пивоваренную воду. Если имеется более жесткая вода, то ее можно применять в главном наливе для получения остаточной щелочности порядка 5 °dH, например, в смеси с холодной водой. В этом случае используют такое количество кислого солода (около 6 %) или биологической молочной кислоты, чтобы значение pH затора составляло 5,4-5,5. Промывная вода должна быть мягкой с отрицательной остаточной щелочностью в -1 °dH (дозирование к доливу CaCl₂).

Способы варки. Диапазон первого налива у более жидкого начального сусла изменяется в широких пределах. Так, вполне можно производить затирание при соотношении «начальное сусло : главный налив = 1 : 5-6». Это дает преимущество в том, что общий затор примерно соответствует нормальной засыпи. Способ затирания может быть нацелен на получение чуть более низкой КСС — так, с помощью двухотварочного способа 35/70/77 °C представляется возможным снизить ее примерно до 76-77 % (см. раздел 2.3.3.2). Затор можно кипятить 15 мин, причем температура осахаривания

части затора должна всегда быть высокой (около 75 °C).

Для существенного снижения КСС можно использовать способ затирания со ступенчатым повышением температуры (см. раздел 2.3.3.5).

7.10.7.4. Специальные способы.

Приготовление пива с повышенной экстрактивностью начального сусла и разбавлением в стадии холодного сусла. В этом случае из 11,5 %-ного сусла благодаря добавлению воды (около 60 % от объема сусла) достигается разбавление ароматических веществ сусла, что благоприятно сказывается на вкусовых показателях.

Приготовление пива с экстрактивностью начального сусла менее 7%, смешивание сброженного пива нормальным при перекачивании молодого пива на дображивание или смешивание с нормальным пивом при спуске сусла. Большую гармоничность и улучшение округлости вкуса можно получить путем введения начального сусла с экстрактивностью 6,2-6,4 % и добавления нормального пива (в виде завитков или готового пива).

Ограничение степени сбраживания до 50 %-ного содержания спирта по сравнению с основным типом пива требует или строгого ведения процесса затирания и/или прерывания брожения при видимой степени сбраживания около 65 %. В таком случае брожение должно проводиться в холодных условиях, то есть при температуре 7-7,5 °C. Перекачивание пива на дображивание следует проводить при степени сбраживания молодого пива около 52 %, сохраняя тем самым достаточный задел для созревания и дображивания при низких температурах. Лучше всего брожение осуществлять в охлаждаемых танках. Такому пиву для

формирования вкуса при созревании требуется дображивание (с учетом температуры!) в течение не менее 40 сут, при этом оказывается положительное влияние и на коллоидную стойкость пива. В ходе дображивания необходим контроль за расщеплением диацетила. Такое пиво вследствие низкой степени сбраживания является восприимчивым к контаминации микроорганизмами, в связи с чем необходима обеспложивающая фильтрация или кратковременная высокотемпературная обработка.

Тем не менее может оказаться, что приготовленное пиво характеризуется грубым, размытым профилем вкуса (пиво с частично удаленным спиртом подвержено этому риску в меньшей степени). Для получения пива более мягкого характера концентрация первого сусла должна составлять 12-14 %, и при последующей обработке и разбавлении она, естественно, составит обычные 16-17 %.

У 7 %-ного сусла кипячение не должно быть слишком кратким, а температуру выпаривания скорее следует использовать чуть выше нормальной. Чтобы получить хорошее гармоничное пиво, вносимые хмелепродукты всегда должны быть на основе ароматического хмеля. Если необходимо получить хмелевой аромат, то первую порцию хмелепродуктов можно вносить при подаче сусла в котел (примерно за 30 мин до начала кипячения). Она, как и последняя порция вносимых хмелепродуктов, должна состоять из лучшего хмеля. Вторая порция (на основе сорта *Perle*) вносится в начале кипячения, а последняя (из сортов *Hersbrucker*, *Spalter*, *Tettnanger*) — при-

мерно за 20 мин до окончания кипячения. Значение рН сусла за 10 мин до окончания кипячения следует откорректировать до 4,9-5,0.

Брожение. Для легкого пива целесообразно использовать ароматические дрожжи, которые вырабатывают больше SO_2 (см. раздел 3.2.6.7). Желательно, чтобы в пиве было повышенное содержание сложных эфиров. Из-за меньшего количества сбраживаемого экстракта главное брожение занимает меньше времени. При использовании бродильных танков меньшего размера можно применять несколько более низкие температуры (вместо 9 — 7,5-8 °C). При классическом главном брожении и дображивании целесообразно работать с завитками, но поскольку они собраны от пива с нормальной экстрактивностью начального сусла, то легкое пиво следует сбраживать в зависимости от доли завитков на соответственно меньшую величину. Низкая экстрактивность начального сусла не всегда обеспечивает оптимальные условия для питания дрожжей. Существует риск, что после нескольких циклов получения легкого пива дрожжи «ослабнут», что будет проявляться в неудовлетворительном снижении значения рН или его увеличении при дображивании. Именно поэтому для легкого пива следует использовать дрожжи с соответствующими физиологическими свойствами и в зависимости от этого подбирать продолжительность дображивания и созревания пива.

Стабилизация легкого пива должна соответствовать требуемой. Большое значение имеет также розлив (по возможности, с ограничением доступа кислорода).

8. Верховое брожение

8.1. Общие вопросы

Изначально пиво готовили способом верхового брожения, а низовые дрожжи были получены позднее из верховых дрожжей. Первое упоминание о низовом брожении относится к концу XV века. Еще позже, во второй половине XIX века, низовое брожение получило большее распространение, чем верховое. Пиво верхового брожения зачастую упрекали за более низкое качество, особенно за недостаточную стойкость, а у пива низового брожения, напротив, подчеркивали повышенную однородность партий, а также повышенную стойкость (благодаря «холодному» ведению брожения и продолжительному дображиванию и созреванию). Если в Англии, Бельгии и Голландии верховое брожение вплоть до второй мировой войны удерживало лидерство в качестве основного способа пивоварения, то в Германии выпуск такого пива сократился примерно до 7 % общего объема производства. В Англии после войны началось активно развиваться производство «лагерного пива» низового брожения, а в Бельгии и Голландии сохранились лишь отдельные типы пива

верхового брожения с незначительными общими объемами производства. В то же время в различных федеральных землях ФРГ пиво верхового брожения вновь стало приобретать широкое распространение, в частности, нижнерейнское «Старое» пиво (*Altbier*), кельшское пиво типа Кельш (*Koelsch*) и баварское пшеничное пиво *Weizenbier*. Существенно укрепило свои позиции на рынке и пиво «Берлинер вайсе» (*Berliner Weiße*). За исключением пива Кельш, производство которого строго ограничено региональными рамками, приготовление пива типа *Altbier* распространено на всей территории земли Северный Рейн-Вестфалия и представлено также в землях Нижняя Саксония, Гессен, Вюртемберг и Бавария. В настоящее время пшеничное пиво производится не только в южной части Баварии, но и во Франконии, Баден-Вюртемберге и Гессене.

Пиво верхового брожения отличается от пива низового брожения («лагерного») своим характером, который изначально задается дрожжами верхового брожения (*Saccharomyces cerevisiae*), которые в ходе и в конце брожения, проводимого при более высоких температурах

(12-25 °С) поднимаются вверх, где они могут быть собраны (сняты). Тем не менее это свойство дрожжей в современных крупных бродильных чанах проявляется нестабильно. У дрожжей низового брожения, напротив, процесс брожения протекает обычно при температуре 5-10 °С, а дображивание — даже при 0 °С. Эти дрожжи в конце брожения оседают на дне чана. Но и здесь четкие границы отсутствуют, так как в современных технологиях брожения и созревания применяются повышенные температуры — 12-20 °С. Дрожжи верхового брожения оказывают намного более сильное влияние на характер пива, чем дрожжи низового брожения — это видно, например, по разнице между дрожжами для пива типа *Altbier*, *Koelsch* и *Berliner Weiße*, а также между отдельными штаммами дрожжей.

Различия между пивом верхового и низового брожения зафиксированы в немецком законе о налогообложении, в котором прописано, что такое пиво разрешается производить как из ячменного солода, так и из солода других зерновых культур (пшеницы, ржи, тритикале, полбы, спельты). За пределами Баварии для приготовления пива верхового брожения разрешается использовать также сахар и сахарный колер.

8.2. Верховые дрожжи

Наряду с упомянутыми выше бродильно-физиологическими свойствами дрожжи верхового и низового брожения отличаются целым рядом признаков.

8.2.1. Морфологические признаки

8.2.1.1. Колонии. Микроскопические структуры у дрожжей верхового брожения не

слишком отличается от низовых. При брожении и разведении (например, в пропагаторе) дрожжи верхового брожения образуют крупные разветвленные колонии, распадающиеся лишь после окончания брожения, тогда как низовые дрожжи существуют исключительно в виде отдельных клеток или пар клеток; в бродильном субстрате дочерняя клетка отделяется от материнской, как только она достигает соответствующего размера.

8.2.2.2. Хлопьеобразующая способность дрожжей.

На макроскопическом уровне верховые и низовые дрожжи отличаются друг от друга: если их размешать в воде в стеклянном стакане, то при седиментации верховые дрожжи обычно распределяются подобно молоку, тогда как дрожжи низового брожения относительно быстро образуют хлопья и оседают. Даже пылевидные низовые дрожжи обладают, хотя и несколько замедленной по сравнению с хлопьевидными дрожжами, седиментирующей способностью. Отсутствие хлопьеобразования присуще, однако, только континентальным верховым дрожжам — английские верховые дрожжи можно также подразделить на хлопьеобразующие и пылевидные.

8.2.2. Физиологические различия

8.2.2.1. Сбраживание раффинозы. Если низовые пивоваренные дрожжи полностью сбраживают трисахарид раффинозу, то верховые дрожжи сбраживают ее лишь на треть. В них отсутствует фермент мелибиаза, который после расщепления фруктозы способен далее расщеплять дисахарид мелибиозу на глюкозу и галактозу. Такое различие между расами дрожжей обусловлено генетически.

8.2.2.2. Спорообразование. Низовые дрожжи характеризуются крайне незначительной способностью к спорообразованию, которое к тому же протекает довольно медленно и занимает примерно 60–72 ч. Большинство же верховых дрожжей образуют споры примерно за 48 ч. Доля спорообразующих клеток у них намного больше.

8.2.2.3. Дыхательный метаболизм верховых дрожжей выражен намного сильнее, чем у низовых. Хотя у первых общий метаболизм примерно на 40 % интенсивнее, чем у вторых, для определения этих рас дрожжей цитохромный спектр не годится. Многие из применяющихся в настоящее время верховых пивоваренных дрожжей настолько специфичны, что уже не обладают адсорбционным спектром аэробных дрожжей. Небольшие отличия проявляются при оптимальных условиях для содержащейся в дрожжах каталазы, которые для низовых дрожжей составляют 15 °С и значение рН 6,5–6,8, а для верховых — 20–24 °С и значение рН 6,2–6,4.

8.2.2.4. Геном пивоваренных дрожжей (определяемый методом гель-электрофореза в пульсирующем поле) позволяет выявить различия между штаммами. Все низовые пивоваренные дрожжи отличаются единообразным набором хромосом (с незначительными отклонениями, специфичные для того или иного штамма), однако отличия хлопьевидных дрожжей от пылевидных не заметны. Верховые дрожжи (для пива типа *Altbier*, Кёльш, для эля и пшеничного пива), напротив, образуют крайне неоднородную группу с различным набором хромосом — лишь у дрожжей для пшеничного пива их карриотипы, несмотря на незначительные

штамм-специфичные отклонения, идентичны, но они явно отличаются от других штаммов верховых дрожжей.

8.2.2.5. Прочие свойства. Верховые дрожжи для пива типа *Altbier*, Кёльш, для эля и пшеничного пива по сравнению с расами низовых дрожжей образуют намного больше побочных продуктов брожения — высших алифатических спиртов, ароматических спиртов и эфиров. Дрожжи для пшеничного пива обладают, кроме того, способностью образовывать 4-винилгваяколь и 4-винилфенол (соответственно 0,5–0,3 и 0,1–0,7 мг/кг). Эти фенолы придают пшеничному пиву типичный вкус пряной гвоздики. 4-винилгваяколь образуется в ходе брожения в результате декарбоксилирования ферулой кислоты, содержащейся в сусле из пшеничного и особенно из ячменного солода.

Склонность верховых дрожжей к автолизу (в состоянии покоя) более всего проявляется при значении рН 4,7, а у низовых дрожжей — при рН 5,0.

Отличия между этими двумя типами дрожжей нестабильны, между ними существуют промежуточные и переходные формы. Кроме того, в каждом из двух типов дрожжей всегда может содержаться определенное количество клеток другого вида.

8.2.3. Технологические особенности брожения

8.2.3.1. Флокирующая способность (см. раздел 3.4.8.7) у верховых дрожжей или вообще не выражена, или выражена очень слабо (за исключением «английских» дрожжей). Агглютинирующая способность как верховых, так и низовых дрожжей генетически обусловлена.

8.2.3.2. Температуры брожения значительно отличаются: оптимальная температура размножения низовых дрожжей — около 15 °С, однако они могут сбразивать сусло и в области более низких температур (0-5 °С). Эти температурные диапазоны также обусловлены генетически, и адаптация дрожжей на них практически не влияет. Для верховых дрожжей необходимы более высокие температуры — порядка 14-25 °С. Эти дрожжи чувствительны к низким температурам. Оптимальная температура для размножения верховых дрожжей составляет около 28 °С.

8.2.3.3. Картина брожения отражает очевидное различие между этими двумя расами дрожжей. Значительная часть верховых дрожжей по окончании размножения в стадии интенсивного брожения поднимается вверх и скапливается на поверхности пива в открытых емкостях или горизонтальных танках. Там образуется салистая, постепенно уплотняющаяся дека или прилегающее к стенкам танка кольцо. Лишь незначительная часть дрожжей оседает на дне в виде рыхлого слоя. Подъем дрожжей можно наблюдать в лаборатории только в том случае, если высота сусла в емкости превышает 20 см. Если высота слоя сусла намного больше (например, в ЦКТ), то дрожжи все же оседают. Возможно, что в этом случае образование CO_2 или обусловленная им конвекция настолько велики, что дрожжевая дека постоянно размывается. В таких танках дрожжи даже после длительного размножения не утрачивают способности к подъему — после их внесения в открытые бродительные емкости они снова демонстрируют привычную степень подъема.

Причина подъема верховых дрожжей заключается, скорее всего, в наличии

сильно разветвленных колоний. В этих образованиях, похожих на виноградные гроздья, образуются пузырьки CO_2 , которые контактируют с увеличивающейся поверхностью дрожжей и увлекают их в деку.

Низовые дрожжи в конце брожения оседают на дне чана. Стимулирует осадение, вероятно, более высокая удельная масса клеточного вещества вследствие более интенсивной выработки гликогена (несмотря на отсутствие почечных колоний). Нередко низовые дрожжи демонстрируют картину брожения, сходную с верховыми дрожжами, хотя при этом их сущностные свойства (сбраживание раффинозы, спорообразование) не изменяются. Возможными причинами этих изменений являются слишком теплые условия выращивания чистой культуры дрожжей.

8.2.3.4. Размножение верховых дрожжей происходит интенсивнее, чем у дрожжей низового брожения. Вследствие более сильного обмена веществ (см. раздел 8.2.2.3) биомасса увеличивается по сравнению с массой внесенных в 6 раз, тогда как у дрожжей низового брожения — в 3-4 раза (при норме внесения дрожжей 0,5 л/гЛ). Следствием этого является усиленное потребление ассимилируемого азота.

8.2.4. Обработка дрожжей

8.2.4.1. Сбор дрожжей осуществляется в открытых емкостях с поверхности бродящей жидкости; в этом случае дрожжевую деку приходится снимать неоднократно для предотвращения ее оседания. Эти дрожжи практически не содержат загрязнений и их можно снова использовать без дополнительной обработки. Самый простой способ сбора дрожжей —

это с помощью перфорированных черпаков, но их можно собирать и путем перелива в приемный лоток или дрожжевую емкость (в случае брожения в танке), а также способом откачивания. При интенсивном брожении и устойчивой деке обычно откачивают пиво под декой и собирают ее так же, как и при низовом брожении. Небольшое количество придонных дрожжей не влияет отрицательно на качество. В ЦКТ дрожжи собирают именно таким способом. Очистку не собранных черпаком дрожжей производят с помощью сит (см. раздел 3.3.5.1).

8.2.4.2. *Хранение дрожжей*, если их сразу же не вносят в сусло, при короткой паузе в несколько суток осуществляется под слоем пива при температуре 0–2 °С. Срок хранения до 4 сут на качестве дрожжей отрицательно не сказывается. Если же дрожжи хранят 7–10 сут, то их целесообразно оставить в холодной воде с температурой 0–2 °С. В случае перерывов между варками дрожжи лучше всего заморозить или спрессовать, после чего хранить в холодном месте. Наилучшим образом для хранения дрожжей подходят небольшие чаны для хранения дрожжей с двойными стенками или рубашкой охлаждения, а также дрожжевые танки с соответствующим охлаждением (при известных условиях — цилиндрикоконические).

Если дрожжи приходится хранить в течение выходных дней или дольше (до 10 сут), то целесообразно их освежить или в первом сусле, или смешать с первой партией сусла первой варки в пропорции 1 : 1 и интенсивно аэрировать (о предварительном ведении дрожжей см. раздел 3.4.3.3).

8.2.4.3. Допускается промывание кислотой верховых дрожжей: при инфицировании

молочнокислыми бактериями (палочками или кокками) рекомендуется использовать фосфорную кислоту до получения значения pH 2,0–2,5. Через 4 ч кислоту удаляют промывкой дрожжей большим количеством стерильной холодной воды. Неизбежное ослабление дрожжей компенсируют увеличением нормы их внесения (на 25–33 %).

8.2.4.4. *Количество циклов ведения дрожжей* намного больше, чем в низовом брожении. Пока дрожжи обладают идеальной энергией брожения и не инфицированы, их можно использовать повторно. Для немецких типов пива верхового брожения обычно используют 5–15 циклов брожения, а для получения пшеничного пива или при условии хорошего контроля одни и те же дрожжи можно вносить 200–500 раз.

При сборе дрожжей у пшеничного пива из ЦКТ они после охлаждения оседают в конусной части. У этих дрожжей через 2–3 цикла постепенно снижается способность к образованию характерных для пшеничного пива фенолов — 4-винилгваяколя и 4-винилфенола. С учетом этого желательно ускорить процесс разведения дрожжей и использовать их лишь несколько раз. Осуществить сбор урожая дрожжей в оптимальный момент времени позволяет использование центрифуги для молодого пива — в этом случае дрожжи дольше сохраняют свои свойства.

8.2.4.5. *Разведение чистой культуры верховых дрожжей* осуществляют так же, как и для низовых дрожжей (см. разделы 3.3.2 и 3.4.3.5), но используют температуры порядка 20–22 °С. В лаборатории чистую культуру дрожжей размножают в стерильных условиях в объеме до 10 л бродящего сусла. Как только достигается

стадия высоких завитков, содержимое этой колбы для брожения вносят в 50 л сусла с температурой 20 °С, а затем к моменту интенсивного брожения добавляют примерно к 25 гл производственного сусла и аэрируют через каждые 5 мин в течение 1 мин до получения степени сбраживания 30-40 %. Этим количеством дрожжей, поддерживая аналогичный режим аэрирования, можно заправить бродильный танк объемом 300-500 гл. Аэрирование прекращают в стадии высоких завитков. Очень важно, чтобы такое ведение брожения проводилось при степени сбраживания 30-40 % или же дать сусло перебродить, а затем снять дрожжи.

Если дрожжи не вводятся из емкости в емкость, то существенно ускорить последующее сбраживание может «освежение» дрожжей в первом сусле (в течение 4-5 ч) или предварительное пропагирование с горячим охмеленным суслом.

8.3. Ведение верхового брожения

8.3.1. Бродильный цех и бродильные емкости

83.1.1. Бродильные цеха для верхового брожения должны отвечать тем же требованиям, что и при низовом брожении (см. раздел 3.4). В случае использования открытых емкостей и наличия хорошей изоляции помещений температуру следует поддерживать на уровне 12-15 °С, для чего требуются соответствующее охлаждающее и нагревательное оборудование. В небольших цехах бывает достаточно настенных систем, а удаление CO₂ осуществляется через вентиляцию. Более крупные бродильные цеха, прежде всего цеха с емкостями на каменном фун-

даменте, рекомендуется оборудовать системой управления циркулирующей воздуха. Стены должны быть облицованы кафельной плиткой или оштукатурены и выкрашены эмалевыми красками. Асфальтовые полы или полы, покрытые кислотостойкими плитами с расшитыми швами, при наличии достаточного уклона не должны создавать проблем при уборке. Большое значение придается чистоте в бродильных цехах при работе в условиях повышенных температур, а также устранению возможностей контаминации цеха перелившимися дрожжами.

8.3.1.2. Бродильные емкости старой конструкции, например, деревянные чаны (покрытые лаком), стальные емкости с облицовкой эмалью или искусственными смолами, алюминиевые емкости, емкости из нержавеющей стали или бетона (с соответствующими облицовочными покрытиями) существенно не отличаются от емкостей, описанных в разделе 3.4.2. В Великобритании на старых пивоварнях все еще применяются чаны, обшитые медью или шифером, высота которых не превышает 1,5 м, что позволяет добиться хорошего подъема дрожжей. В Англии используются и более высокие (2-3 м) емкости, но в этом случае устройства для выгрузки дрожжей обеспечивают простое, как правило, непрерывное удаление дрожжей. Размер емкостей должен способствовать простоте съема дрожжей. Если температура в помещении могла поддерживаться в требуемых пределах, то в небольших модулях, особенно отдельно расположенных, не было необходимости в автономном охлаждении чанов. Охлаждающие змеевики или полости обычно используются как внутренние охладители. В качестве материалов применяются медь, алюминий или нержавеющая

сталь. Общепринятым решением является пристенное охлаждение с использованием забетонированных труб или охлаждающих полостей. В качестве охлаждающей жидкости рекомендуется использовать водопроводную воду, так как небольшая разность температур с бродящей средой позволяет дрожжам избежать температурного стресса. Можно также использовать охлажденную пресную воду или рассол (при этом температуру среды желательно повысить до 5-7 °С).

8.3.1.3. Устройства для съема дрожжей.

В небольших емкостях дрожжи снимают специальной лопаткой типа дуршлага, а в крупных — при помощи доски, которой дрожжи сдвигают к желобу на стенке. В Англии дрожжи снимают через воронку, расположенную в центре чана, высота которой может регулироваться по поверхности пива благодаря перемещающейся в манжете трубке. Применяются также поплавки для отсоса дрожжей и подачи их в сборник.

8.3.1.4. Бродильные танки.

В верховом брожении применяются также *горизонтальные цилиндрические танки*. Регулировка температуры производится или за счет температуры помещения, или благодаря охлаждающим карманам (реже поплавкам). Выгрузка дрожжей осуществляется через закрывающееся отверстие, до края которого доходит высота столба сбрасываемого пива, с воротником, по которому дрожжи стекают в установленную ниже ванну или передвижной сборник.

Вертикальные танки со сферическим днищем и соотношением диаметра к высоте 1 : 1-1,5 с высотой столба пива 2-3 м также снабжены переливом для дрожжей, имеющим форму, позволяющую дрожжам стекать в сборник через ком-

бинированную систему из воронки с трубой. Для облегчения сбора дрожжей можно изменять наклон танков. Для автоматической мойки они закрываются крышкой. В этом случае сбор CO₂ также возможен, но лишь до момента подъема дрожжей. Охлаждение производится по стенкам и со стороны днища (в большинстве случаев — охлажденной водой или гликолем).

В одной из новых конструкций таких танков предусматривается отведение поднимающихся дрожжей через центральную воронку, высота которой точно устанавливается по уровню жидкости. Эта воронка оснащена трубой, по которой дрожжи направляются в передвижной сборник. Это устройство должно быть подключено к установке автоматической мойки.

В вертикальных цилиндрических танках высота столба жидкости может достигать 10-12 м и более. Дрожжи здесь оседают в конусной части емкости (вероятно, из-за относительно сильной конвекции поднимающегося вверх CO₂, см. раздел 3.6.1.2). Охлаждение обеспечивается благодаря карманам охлаждения или приваренным трубкам (целесообразно предусмотреть охлаждение конусной части, чтобы иметь возможность регулировать температуру дрожжей). В зависимости от требуемой температуры дрожжей холодильный агент имеет температуру от -2 до +6 °С, что необходимо учитывать при расчете площади охлаждения (см. раздел 3.4.2.11).

8.3.1.5. *Пространство на подъем пены* благодаря использованию более высоких температур и за счет подъема дрожжей должно быть существенно больше, чем при низовом брожении. В случае периодического удаления дрожжей, как например,

в системах перелива или напорных трубах, для пространства на подъем пены дополнительно потребуется 30-50 % высоты столба жидкости. В цилиндрических ферментерах это пространство должно быть еще больше (до 65 %), но упомянутые ранее преимущества таких танков бесспорны и для верхового брожения.

8.3.2. Свойства сусла

8.3.2.1. Состав сусла для верхового брожения при использовании 100% ячменного солода такой же, как и для низового брожения (см. раздел 2.5.8). При использовании 50-70 % пшеничного солода, однако, отмечается уменьшение доли ассимилированного азота (формольный азот — 24-27 %, α -аминный азот — около 18 % от общего азота). В английских типах солода содержание α -аминного азота колеблется в зависимости от доли несоложенных материалов от 14 до 24 мг/100 мл (экстрактивность 12 %). С одной стороны, определенное наличие аминокислот желательно для получения нормального спектра побочных продуктов брожения и проведения быстрого брожения при хорошем размножении дрожжей; с другой стороны, при высоких исходных значениях слишком много аминного азота остается в пиве, что ухудшает биологическую стойкость пива.

8.3.2.2. Обработка сусла включает полное отделение осадка взвесей горячего сусла (осадок взвесей холодного сусла можно удалять вместе с поднявшимся хмелем). При использовании бродильных чанов частичное удаление осадка взвесей холодного сусла является желательным, так как позволяет получить более чистые дрожжи и более мягкое пиво.

8.3.3. Внесение дрожжей

8.3.3.1. Номинальная температура сусла при внесении дрожжей варьирует от 12 до 16 °С — достаточно высокой, чтобы в сочетании с двумя другими факторами (аэрацией и нормой внесения дрожжей) достигалась заданная максимальная температура. В случае охлаждения бродильного цеха или бродильных емкостей температуру сусла при внесении дрожжей можно выбирать более гибко. Прежде существовало правило, по которому температура сусла при внесении дрожжей и температура помещения должны были составлять в сумме 30 °С, то есть при температуре бродильного цеха 18 °С дрожжи следовало вносить при температуре сусла 12 °С и наоборот.

8.3.3.2. Норма внесения дрожжей составляет около 0,25-0,5 л/гл (7-15 млн дрожжевых клеток/мл). Так как дрожжи бывают разной консистенции, то очень важно правильно определить содержание твердой фазы. В горизонтальных бродильных чанах небольшого размера достаточно внести жидкие дрожжи, а при использовании крупных емкостей, а также открытых чанов дрожжи лучше всего закачивать по суслопроводу не позднее окончания половины фазы процесса охлаждения сусла. Можно также вносить дрожжи и в стадии высоких завитков (степень сбраживания — менее 40 %). В этом случае они должны составлять 25 % от общего количества сусла (допускается добавление трехкратного количества сусла).

8.3.3.3. Аэрирование должно обеспечивать содержание кислорода 5-8 мг/л. В этих целях применяют металлокерамические свечи, стационарные мешалки и центробежные смесители (см. раздел 2.7.7.3).

При перекачивании дрожжей в бродительный чан повторное аэрирование, как правило, является излишним, поскольку сбраживание протекает относительно быстро, и, кроме того, аэрирование может вызвать слишком сильное пенообразование.

8.3.3.4. Долив (например, второй варки) при условии полной аэрации возможен в течение первых 12 ч брожения. При внесении завитков можно добавить тройное количество аэрированного сусла. Если заполнение бродительной емкости производится более 12 ч, то рекомендуется дросселировать подачу воздуха от партии к партии. При этом необходимо контролировать хорошее перемешивание отдельных варок.

8.3.4. Ход главного брожения

8.3.4.1. Стадии брожения. Если в низовом брожении выделяют четыре стадии, то в верховом брожении различают лишь две. Сначала примерно через 8-12 ч после внесения дрожжей происходит «подъем хмеля», продолжающийся 12-24 ч. При этом поднимающиеся дрожжи увлекают на поверхность такие загрязнения, как частицы взвесей и хмелевые смолы, которые удаляются с поверхности. Быстрое снижение значения pH вызывает переход в нерастворимое состояние попадающих в деку дубильных коллоидов белка, горьких веществ и т. д., которые для обеспечения правильного хода брожения и получения более чистых дрожжей необходимо снимать с деки. При брожении в горизонтальных и вертикальных танках это невозможно, и в этом случае эффективно разгрузить деку помогает удаление осадка взвесей холодного сусла (прежде всего путем флотации, см. раздел 2.7.7.2).

Из-за более высоких температур снижение экстрактивности идет очень быстро и составляет, например, при температуре 16-17 °C в первые 24 ч от 2,0 до 2,5%. Значение pH снижается на 0,7.

По ходу брожения дрожжи образуют завитки, очень похожие на высокие завитки низового брожения. Затем несколько повышается вязкость завитков и начинается *подъем дрожжей*, продолжающийся до конца брожения. Если не обеспечить непрерывное отведение дрожжей, то под действием массы дрожжей дека будет немного оседать. Подъем дрожжей начинается через 24-36 ч после внесения дрожжей. Съем дрожжей рекомендуется проводить через каждые 3-6 ч.

На вторые сутки брожения экстрактивность падает очень быстро — в зависимости от температуры брожения (18-22 °C) на 5,5-6,5 %, так что в большинстве случаев через 48-60 ч достигается желательная степень сбраживания молодого пива (на 6-8 % ниже КСС). Если необходимо достичь КСС, то брожение при температуре 18-22 °C продолжается 60, максимум 72 ч. Значение pH снижается (чаще всего через 36-40 ч брожения) до минимальной величины 4,0-4,1, после чего нередко происходит небольшое его увеличение.

Температурный режим в большинстве случаев регулируют так, чтобы не была превышена максимальная температура (18-22 °C). Осуществляют это путем поддержания определенного соотношения между температурой внесения дрожжей и температурой помещения (см. выше), или путем соответствующего охлаждения бродительной емкости, что надежнее. В слишком теплых бродительных цехах температура брожения может достигать 25-28 °C, а это несет риск инфицирования сбраживаемого сусла. В конце

брожения образуется плотная дрожжевая дека, которую осторожно снимают. При длительном простаивании из деки отделяются отдельные дрожжевые клетки, которые затем оседают на дне чана, что сопровождается распадом дрожжевых колоний. Оседают и дрожжи, попавшие в пиво после подъема, причем при их седиментации в осадок выпадают белок и горькие вещества. В ЦКТб через 5-8 ч после внесения дрожжей рекомендуется осторожно снять взвеси холодного сусла. В зависимости от геометрии емкости, способа внесения дрожжей и интенсивности забраживания на разных предприятиях это производят по-разному. Обычно дрожжи оседают в конусной части, откуда их можно собрать в густом виде (по возможности с помощью охлаждения с 20 до 7-10 °С). После интенсивного слива небольшого количества осадка взвесей эти дрожжи характеризуются высокой степенью чистоты. Их, как и «снятые дрожжи» из открытых емкостей, можно сразу же вновь использовать для внесения в сусло.

8.3.4.2. Всплывание дрожжей хорошо заметно в открытых емкостях и горизонтальных чанах. Оно является признаком активных дрожжей с большой бродильной способностью и желательного хода верхового брожения. Дрожжи, таким образом, можно быстро удалить из пива, так что они не смогут стать причиной каких-либо дефектов: увеличения значения рН, осаждения белков или танноидов и т. д., которые способны вызвать горький дрожжевой привкус.

Всплывание дрожжей при так называемом подъеме дрожжей должно проходить равномерно, что позволяет добиться по возможности полного удаления дрожжей. Подъему дрожжей способствуют

теплое ведение брожения и интенсивное аэрирование в сочетании с безупречным составом сусла (соразмерной долей сбраживаемых сахаров, содержанием аминокислот и ассимилируемых пептидов). Важны также штамм дрожжей и их физиологическое состояние. Дрожжи, долго пребывавшие в состоянии покоя, поднимаются хуже, чем дрожжи, внесенные «из чана в чан». Здесь полезно разведение чистой культуры дрожжей с первым суслom и т. д. За пределами ФРГ для улучшения характеристик брожения, а значит и подъема дрожжей, в дрожжи при хранении добавляют некоторые минеральные вещества, в частности, фосфаты. Отрицательно сказываются на подъеме верховых дрожжей следующие факторы: плохое физиологическое состояние дрожжей, неблагоприятный состав сусла, слишком холодное ведение брожения, недостаток кислорода, высокое содержание в сусле взвесей, присутствие тяжелых металлов (например, меди и железа, особенно после простоев), а также сусло с пониженной экстрактивностью.

Как мы уже отмечали, резкое ухудшение подъема дрожжей вызывает ухудшение свойств пива (в первую очередь вкусовых).

8.3.4.3. Варианты главного брожения. Изначально верховое брожение проводили в одной емкости («одночановая» система). Разведение чистой культуры дрожжей в первом сусле (в большинстве случаев той же варки) вызывало быстрое забраживание, особенно если дрожжи несколько дней хранились под пивом или в воде. В этом случае при внесении дрожжей они уже были достаточно хорошо распределены, при известных условиях уже преодолевали лаг-фазу и начинали размножаться. Затем этот способ

был усовершенствован путем использования *чана для внесения дрожжей*, в котором осаждались захваченный осадок взвесей горячего сусла и, в зависимости от длительности седиментации, немного осадка взвесей холодного сусла. Слишком раннее перекачивание могло привести наряду с неполной седиментацией взвесей и к потере дрожжей. Дрожжи верхового брожения после внесения также могут сначала осесть на дне, начав подниматься только после начала брожения. При слишком позднем перекачивании часть уже седиментированных взвесей может быть взмучена в результате конвекции под действием поднимающихся пузырьков CO_2 и дрожжевых клеток. При применении флотации подобные недостатки отсутствуют. Аэрирование при перекачивании благоприятно сказывается на ходе брожения и размножения дрожжей. Как правило, перекачивание производят через 12 ч после внесения дрожжей или через 6-8 ч после долива последней варки.

Системы из двух или трех емкостей. Наряду с чанами для внесения дрожжей и бродильными применяют, особенно в Великобритании, дополнительные емкости для подъема дрожжей и снятия деки — они меньшего размера и менее глубокие, чем традиционные бродильные чаны. Эти емкости оборудуют различными приспособлениями для отделения дрожжей. *Внесение семенных дрожжей доливом* ускоряет брожение в том случае, если бродильная емкость наполняется в течение 12 ч. В *крупных бродильных танках*, способных вместить суточный объем выпускаемого пива и более, при доливе с интервалом 2-4 ч через 12-24 ч наступает «статичное» состояние, сходное с аналогичным состоянием при традиционном ведении брожения: значение

видимого экстракта сброживаемого пива, несмотря на добавление свежего сусла, остается почти постоянным (порядка 3-4 %) до момента полного заполнения емкости, и лишь после этого степень сброживания начинает расти. Условием оптимального хода брожения является хорошее перемешивание добавляемого свежего сусла с бродильным субстратом. Расслоение сусла при данных высоких температурах может вызвать его инфицирование (например, термобактериями). Одним из простых способов является внесение дрожжей в стадии завитков: как только варка достигает стадии высоких завитков, из нее отбирается четвертая или пятая часть, которую затем используют в качестве «заправки» для следующей варки. В варку, из которой были взяты завитки, снова вводят такое же количество сусла. Этот способ можно повторять много раз.

В горизонтальных танках меньшее свободное пространство для подъема пены нередко используется для того, чтобы поднимающиеся дрожжи могли перетекать по трубе в соседний танк, куда затем подается сусло. Дрожжи из этого танка в свою очередь используются для внесения в следующий танк. Процесс внесения дрожжей в два связанных между собой танка можно согласовать по времени так, чтобы один танк всегда находился в фазе высоких завитков, а другой — в стадии внесения дрожжей. Вместе с тем, реализация описанных способов возможна лишь в случае непрерывного производства пива верхового брожения (например, на предприятиях, выпускающих пиво типа *Koelsh, Alt и Weiss*).

8.3.4.4. В верховом брожении применяется также *брожение под давлением* (например, при производстве пива типа

Koelsh и *Alt*). Повышенную норму внесения дрожжей (1-1,5 л/гЛ) вносят без давления в чан или танк для внесения дрожжей и перекачивают через 12 ч или в стадии завитков. В крупных бродильных танках внесение дрожжей доливом осуществляют многократно напрямую, то есть без дальнейшей обработки. В зависимости от высоты танка избыточное давление обычно составляет 0,5-0,8 бар. При максимальных температурах порядка 22-24 °С брожение завершается через 48-60 ч; следующие 24-36 ч предназначены для снижения содержания 2-ацетолактата. Удаление дрожжей из ЦКТб производится соответственно в конце брожения и конце дображивания, а из танков с плоским дном — при перекачивании в цех дображивания. В этом случае для равномерной коррекции объема дрожжей для хранения рекомендуется применять сепараторы для молодого пива. Применение давления позволяет несколько уменьшить необходимое пространство для подъема пены. Содержание побочных продуктов брожения даже с учетом более высоких температур брожения благодаря повышенной норме внесения дрожжей и давлению ограничено, что характерно и для низового брожения (см. раздел 3.6.3.4). Количество циклов ведения дрожжей в условиях повышенных температур и давления ограничено.

8.3.5. Изменения в сусле при верховом брожении

Благодаря свойствам дрожжей верхового брожения, а также под действием повышенных температур и обусловленного ими быстро и продолжительного снижения значения рН сусло в ходе верхового брожения претерпевает более глубокие изменения, чем при низовом брожении.

8.3.5.1. Изменение значения рН. Как мы уже отмечали в разделе 8.3.4.1, значение рН при верховом брожении снижается очень быстро — от первоначального 5,4-5,7 до 4,0-4,2. Некоторое повышение значения рН в ходе главного брожения, обусловленное малой продолжительностью брожения, составляет не более 0,05. Только в случае слишком долгого контакта дрожжей с пивом (например, при недостаточном съеме дрожжей) и очень длительного воздействия повышенных температур значение рН вновь повышается на 0,1-0,2 благодаря выделению основных аминокислот и фосфатов. Как правило, это сопровождается ухудшением вкуса. На снижение значения рН положительное влияние оказывают следующие факторы: повышенные температуры брожения, сильное размножение дрожжей, интенсивное забраживание и хорошая сбраживаемость сусла. Это, естественно, зависит от наличия в сусле ассимилированного азота и от содержания в нем фосфатов и микроэлементов. Фосфаты стимулируют дрожжевой метаболизм при брожении и, как и микроэлементы, могут в некоторой степени противодействовать снижению рН.

8.3.5.2. Азотсодержащие вещества. Из-за сильного снижения значения рН и высокой скорости размножения дрожжей содержание общего азота в ходе главного брожения снижается на 40 мг/100 мл, что на 30 % больше, чем при низовом брожении. При этом содержание коагулируемого азота в неблагоприятном по составу пшеничном сусле снижается более чем на 50 %, в результате чего в готовом пиве его содержание оказывается нормальным и, скорее, даже пониженным. Содержание высокомолекулярных азотистых фракций (осаждаемых сульфатом

магния) также существенно уменьшается. Благодаря интенсивному росту дрожжей из сусла отбирается очень много свободного аминного азота (в процентном выражении): его первоначальное содержание (18-22 мг/100 мл) снижается до 2-6 мг/100 мл, что является хорошей предпосылкой биологической, а также вкусовой стойкости пива.

8.3.5.3. Горькие вещества сусла усиленно удаляются благодаря значению pH и очень сильному образованию CO_2 (за 24 ч сбраживается более 6 % экстракта!), а также вследствие большой поверхности дрожжей. Таким образом, молодое пиво при открытом брожении содержит чуть более 50 %, а в бродительных танках — около 60 % горьких веществ, растворенных в начальном сусле. Потери, естественно, зависят от степени изомеризации α -кислот, остаточное содержание которых в пиве варьирует в пределах 0,3-1,0 мг/л.

8.3.5.4. Полифенолы при верховом брожении осаждаются сильнее, чем при низовом брожении (по тем же причинам).

8.3.5.5. Цветность от начального сусла до молодого или готового пива снижается у светлых типов (*Koelsch*, пшеничное пиво) на 3-4 ед. ЕВС. Здесь сказывается снижение значения pH, а также более интенсивное отделение красящих веществ.

8.3.5.6. Побочные продукты брожения при верховом брожении ведут себя иначе, чем при низовом. С одной стороны, это обусловлено штаммами дрожжей, а с другой — применяемыми более высокими температурами. Верховые дрожжи всегда продуцируют больше высших спиртов и сложных эфиров, чем низовые, так как последние сильнее реагируют на повы-

шение температуры брожения (см. раздел 3.2.6).

Образование *ацетальдегида* происходит сильнее в стадии забраживания (благодаря повышенным температурам), но снижение его содержания при последующем брожении происходит дольше, так что в результате его содержание оказывается на 2-4 мг/л ниже, чем при низовом брожении.

Высшие алифатические спирты достигают содержания, превышающего на 15-50 % показатели низовых дрожжей. Конечно, на их образование заметно влияют условия брожения. Содержание изобутанола при увеличении температуры брожения повышается с 16 до 22 °C более чем на 50 %. Дрожжи для пшеничного пива могут давать существенно более высокие значения, чем дрожжи для производства пива *Koelsch* и *Alt*. У пива верхового брожения содержание 2-фенилэтилового спирта практически не превышает его содержание в пиве низового брожения (если используются примерно одинаковые температуры брожения); напротив, низовые дрожжи реагируют чувствительнее, чем дрожжи верхового брожения.

Содержание *сложных эфиров* вследствие значительно более высокой скорости размножения дрожжей и в целом более сильного их метаболизма при верховом брожении увеличивается примерно на 50 % по сравнению с низовым, однако существенно зависит и от штамма используемых верховых дрожжей. Так, дрожжи для пшеничного пива продуцируют больше сложных эфиров, чем дрожжи для пива *Koelsch* и *Alt*.

Содержание *вициальных дикетонов* и их предшественников, как и при более теплом ведении процесса при низовом брожении, сильно возрастает в начале брожения, однако впоследствии под действи-

ем высоких температур наступает быстрое снижение содержания 2-ацетолактата и 2-ацетогидроксibuтирата. Содержание первого уже в ходе 1-2-суточной паузы при 20 или 17 °С снижается ниже порога вкусового восприятия диацетила.

При верховом брожении вследствие более интенсивного размножения дрожжей содержание *низкомолекулярных свободных жирных кислот* ниже, чем при низовом. Образование НСЖК существенно зависит от физиологического состояния дрожжей.

Особенностью дрожжей для производства «белого» (*Weiss*) и пшеничного (*Weizen*) пива является их способность декарбосилировать содержащуюся в сусле феруловую кислоту до 4-винилгваяколя. Феруловая кислота связана в сусле с нерастворимым пентозаном, в частности, с боковыми цепочками арабинозы. 4-Винилгваяколь продуцируется в ходе расщепления пентозана в результате гидролиза при солодоращении и особенно при затирании. Образование 4-винилгваяколя при брожении зависит, естественно, от содержания его предшественника — феруловой кислоты, на которое в определенных пределах можно воздействовать при помощи условий затирания (см. раздел 8.4.3.4). Разные штаммы дрожжей для пшеничного пива производят неодинаковое количество 4-винилгваяколя ($\pm 50\%$). При брожении повышающее действие может оказать стадия внесения дрожжей в сусло (например, флотация), тогда как температуры брожения в области 15-20 °С на его содержание оказывают лишь незначительное воздействие. Решающее значение здесь имеет геометрия бродильных емкостей (чаны, горизонтальные бродильные танки, вертикальные танки со сферическим днищем или ЦКТ), а также способ съема

дрожжей — сверху или (в ЦКТб) снизу. Следствием многократного ведения брожения в ЦКТб является сокращение содержания полифенолов, сопровождаемое, однако, ослабленным образованием эфиров. Продолжительное пребывание суспендированных дрожжей в отбродившем пиве дает повышение содержания 4-винилгваяколя по сравнению с фильтрованием непосредственно после достижения КСС. Если дрожжи, выращенные из чистой культуры, использовать в ЦКТб лишь в 2-3 бродильных циклах, то содержание 4-винилгваяколя можно поддерживать в желаемом диапазоне (1,2-1,7 мг/л). Следствием слишком высокого содержания этих фенолов является долгое горькое послевкусие, нарушающее гармоничность пива.

8.3.6. Дображивание

Еще в первой половине XX века выпуск целого ряда сортов пива верхового брожения производился без стадии дображивания, то есть в большинстве случаев непосредственно из бродильной емкости. У других же сортов пива дображивание проводили, как и при низовом брожении, в бутылках.

8.3.6.1. Свежее («живое») пиво отпускалось после прекращения брожения и съема деки, и при этом стремились добиться хорошего отделения дрожжей. Реализация такого пива осуществлялась без добавления завитков или сахара. Дображивание проходило у потребителей в бочках или бутылках.

8.3.6.2. Дображиваемое пиво верхового брожения поступает в бочки или танки для дображивания с остаточным содержанием экстрактивных веществ 0,5-0,8 %.

Содержание дрожжей составляет при этом около 15-40 млн клеток/мл. Перекачивание молодого пива с температурой 10-18 °С через шланг производится при температуре в отделении дображивания 3-5 °С. Благодаря тому что танк заполняется сразу, охлаждение идет так медленно, что остаточные экстрактивные вещества сбраживаются в основном в течение 7-14 сут. Интенсивность дображивания, естественно, существенно зависит от штамма дрожжей, условий брожения и состава сусла. При шпунтовании учитывается как желаемое содержание CO_2 в пиве, так и температура в отделении дображивания. Например, для бочкового пива давление шпунтования составляет 0,3-0,4 бара, для бутылочного пива — 0,5-0,7 бар. Осветление осуществляется медленно и в большинстве случаев остается неполным. С одной стороны, это связано с низкой флокулирующей способностью верховых дрожжей, которые в случае активного дображивания, а также после его прекращения осаждаются очень медленно. С другой стороны, замедляется осаждение других компонентов мути, в частности белково-дубильных коллоидов, у которых при несколько более высоких температурах отделения дображивания не происходит желаемого снижения степени дисперсности. Из-за относительно высокого содержания дрожжей при перекачивании и технологически обусловленных более теплых отделений дображивания рекомендуется перекачивать пиво по окончании дображивания с дрожжевого осадка в более холодное отделение. При этом зачастую используется охладитель, но иногда применяют и стружку (до 20 г/гл) или вспомогательные средства для стабилизации пива. При таком ступенчатом дображивании и созревании и поддержке сначала они проводятся при

несколько повышенных температурах (7-12 °С) так, чтобы процессы дображивания и созревания продолжались. В целом этот цикл занимает 7-14 сут. При последующем холодном хранении необходимы температуры около 0 °С. В целях лучшего осветления общепринято повышать давление шпунтования в последние сутки хранения на 1 бар.

Если на пивоваренном предприятии вместе с пивом верхового брожения производится и пиво низового брожения, для оживления или закрепления процесса дображивания можно добавить низовые дрожжи (0,1 %) в виде завитков (не более 15 %). Указанные максимальные количества регламентированы в ФРГ законом о налоге на пиво. Преимущества этого очевидны: низовые дрожжи, независимо от того, смешиваются ли они с пивом или добавляются в виде завитков, активно сбраживают остаточные экстрактивные вещества даже в условиях низких температур отделения дображивания. Благодаря своей флокулирующей способности они поддерживают также процесс седиментации верховых дрожжей, в результате чего лучше проходит осветление. Так как характер пива верхового брожения задается уже в ходе главного брожения благодаря образованию максимального количества побочных продуктов брожения, то низовые дрожжи не ухудшают свойств пива верхового брожения.

При использовании *современных способов брожения* (см. раздел 3.6) различают стадию созревания и стадию дображивания. На первой стадии первоначальная температура брожения поддерживается до тех пор, пока не будет достигнуто снижение содержания вицинальных дикетонов и их предшественников. Затем производится охлаждение примерно до 7 °С и отмучивание дрожжей (чаще всего —

после паузы в 6–24 ч). После этого пиво охлаждают в том же танке (при однотанковом способе) или перекачивают в другой танк и при этом охлаждают в охладителе до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нередко при перекачивании через шланг (по возможности без охлаждения до $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, следовательно, без паузы) используется фильтр для молодого пива; с его помощью производится сьем дрожжей или же благодаря снижению содержания остаточных суспендированных дрожжей осуществляется корректировка (до желаемого для холодного хранения содержания дрожжей — около 3 млн клеток/л). При однотанковом способе после достижения температуры $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при последующем холодном хранении важно отделять седиментирующиеся дрожжи раз в неделю. В танке холодного хранения необходимо также еженедельно удалять дрожжи, захваченные при перекачивании через шланг. Требуемое насыщение CO_2 происходит благодаря своевременному применению давления.

При любом способе хранения важно то, чтобы содержание дрожжей с учетом продолжительности хранения и температуры не было слишком большим — в противном случае происходит увеличение значения pH вследствие осаждения компонентов дрожжей. Возрастает, например, содержание аминного азота, которое ухудшает пенообразующие свойства, снижает биологическую стойкость и ускоряет старение пива в бутылках. Содержание низкомолекулярных свободных жирных кислот (гексановой, октановой и декановой) в этом случае также значительно возрастает, что приводит к ухудшению пенообразующих свойств. Увеличение содержания сложных эфиров жирных кислот сопровождается образованием дрожжевого привкуса. Выделение протеаз из физиологически слабых

дрожжей уже во время созревания приводит к снижению содержания высокомолекулярных азотсодержащих веществ с увеличением содержания аминного азота, что сопровождается заметным ухудшением пенообразующих свойств.

8.3.6.3. Брожение в бутылках. Молодое пиво разливают в бутылки сразу после брожения или промежуточного хранения в танке (1–14 сут при температуре $5\text{--}7\text{ }^{\circ}\text{C}$ без шпунтования). Таким образом, дображивание полностью или частично проходит в емкости для транспортировки. Для получения требуемой степени насыщения CO_2 (0,5–0,9 %) в молодое пиво с дрожжами в большинстве случаев добавляют экстракт в виде сахара (за пределами Баварии), несброженное сусло (первое или горячее охмеленное сусло) или завитки (чаще всего от низовых дрожжей). Результатом начавшегося дображивания, наряду с повышением содержания CO_2 , является созревание и осветление пива, хотя последнее при использовании исключительно верховых дрожжей осуществляется не полностью. Низовые дрожжи улучшают эффект осветления; в прошлом также специально добавляли осветлитель (см. раздел 3.5.3.5). Для достижения содержания CO_2 , характерного для данного типа пива, еще до розлива (но без риска перешпунтования) необходимо рассчитать количество вводимого экстракта с учетом степени сбраживания, требуемой при розливе. Так как при сбраживании 1 г экстракта образуется 0,46 г CO_2 , то в отбродившее молодое пиво с 0,2 % CO_2 , на выпуске которого оно должно составить 0,7 %, можно добавить 0,5/0,46, то есть 1,08 % сбраживаемого экстракта. Если конечная действительная степень сбраживания «подкормки» составляет 66 %, то дозируемое количество общего

экстракта будет 1,08/0,66, то есть 1,63 %. Учитывая экстрактивность начального суслу 12,8 %масс. (13,45 %об.), расчетная добавка составит 12 % от количества молодого пива. Если же в молодом пиве еще присутствует сбраживаемый экстракт, то его необходимо учесть. Так как верховые дрожжи и в конце брожения еще отличает сильное падение экстрактивности, то степень сбраживания следует контролировать каждый час и соответственно регулировать добавление экстракта.

Для активного сбраживания внесенного экстракта, розлитое пиво в стадии дображивания сначала хранят при более высоких температурах (около 15-20 °С). Пиво, уже прошедшее промежуточное хранение в отделении дображивания, следует соответственно подогреть. Ход дображивания можно контролировать с помощью манометров, устанавливаемые на 3-4 бутылки в каждой партии. Через 2-3 сут давление достигает максимальной величины 2-3,5 бар (в зависимости от температуры в отделении дображивания и количества сброженного экстракта). Затем пиво охлаждают до 2-4 °С или путём переключения системы кондиционирования воздуха в помещении с обогрева на охлаждение, или за счет перемещения бутылок в штабелях на поддонах из «теплого» в «холодное» отделение. Через 2-3 нед. холодного хранения пиво осветляется настолько, что оно готово к реализации. У пива *Berliner Weisse* или северо-немецких сортов белого пива (*norddeutschen Weißbieren*) продолжительность дображивания и созревания составляла ранее 3 мес. (иногда даже до 2-3 лет), благодаря чему такое пиво приобретало особую эфирно-цветочную ноту.

8.3.6.4. Осветлители. Если пиво поставляется на реализацию в нефилтрован-

ном виде в бочках (как например, в Англии) или в бутылках, то дрожжи и вещества мути необходимо удалять. Как уже отмечалось ранее, при низком содержании дрожжей в молодом пиве верхового брожения или при его промежуточном хранении для удовлетворительного осветления пива достаточно относительно небольшого количества низовых дрожжей. Если же требуется более глубокое осветление, то применяют такие осветлители, как рыбий клей, желатин или препараты из водорослей (исландский мох или карраген). В ФРГ разрешено применение только рыбьего клея, который, однако, запрещено добавлять в бутылки. Эта операция проводится преимущественно в отделении промежуточного хранения, где есть возможность для хорошего оседания клея и при известных условиях его можно удалить путем последующего фильтрования.

Рыбий клей представляет собой препарат из плавательных пузырей некоторых рыб (в частности, белуги), который после тщательной очистки и сушки поступает в торговую сеть в виде листов или полосок. В пиво рыбий клей добавляют в количестве 2,5-4 г/гл. После основательной промывки в воде (в течение 10 ч в проточной холодной воде для удаления запаха рыбы) в такой клей вносят виннокаменную кислоту (0,1 % по сухой массе), добавляют воду до 20-кратного объема и оставляют набухать. Затем полученное желе многократно промывают водой для удаления виннокаменной кислоты. Путем добавления горячей воды (температурой 50 °С) из этой слабвязкой массы можно через сито для дрожжей удалить возможные остатки плавательных пузырей, после чего осветлитель смешивается с нужной партией пива.

8.3.7. Фильтрация и розлив

8.3.7.1. Фильтрация. Пиво верхового брожения выпускается в зависимости от типа отфильтрованным или нефильтованным. При фильтрации руководствуются теми же принципами, что и для пива низового брожения (см. главу 4). Особенность пива верхового брожения заключается в том, что и в конце хранения в нем еще может содержаться много дрожжей (от 2 до 20 млн клеток/мл), а седиментация коллоидных частиц мути может пройти недостаточно глубоко вследствие слишком непродолжительного дображивания или высокой температуры хранения. Для уменьшения нагрузки на фильтр предварительного фильтрации зачастую используют центрифуги (см. раздел 4.2.5). Несмотря на это, расход кизельгура составляет 120–250 г/гд, что объясняется ограниченным сроком службы фильтров. Для обеспечения биологической стойкости нередко применяют дополнительные пластинчатые фильтры с обеспложивающими слоями. В случае инфицирования пива молочнокислыми бактериями производительность фильтра следует кардинально снизить до 0,5–0,6 гл/м² в час или еще раз произвести двойное фильтрование через всю систему из кизельгурового и пластинчатого фильтров с пониженным расходом (что еще лучше). Фильтруемость пива может ухудшиться при добавлении уже осветлившегося молодого пива (полученного с помощью декантера или центрифуги) из-за содержащихся в нем гумми-веществ.

8.3.7.2. Стабилизация. Так как срок годности фильтрованного пива верхового брожения такой же, как и у пива низового брожения, то необходимо его стабилизировать. В большинстве случаев стабилизацию

проводят с помощью препаратов кремниевой кислоты в ходе фильтрации (см. раздел 7.6.4.1).

8.3.7.3. Стерилизация. Вместо стерилизации можно проводить кратковременную высокотемпературную пастеризацию пива. У пива с высоким давлением шпунтования (например, пшеничного) следует учитывать давление насыщения CO₂. Пастеризация в бутылках для диетического и солодового пива обязательна, так как даже незначительная дрожжевая контаминация пива вызывает сбраживание экстракта, присутствующего в достаточном количестве (появляются риски взрыва или растрескивания бутылок, гашинг-эффекта и т.д.). Нормально сброженное пиво (например, типа *Alt*) пастеризуют только при необходимости длительной транспортировки или при незначительной доле такого пива на рынке.

8.3.7.4. Розлив. Все типы фильтрованного пива верхового брожения для снижения поглощения кислорода требуют такого же осторожного обращения при розливе, что и пиво низового брожения. Пиво, дображиваемое в бутылках, менее восприимчиво к кислороду при розливе.

8.4. Различные типы пива верхового брожения

Типы пива верхового брожения зачастую сильно отличаются друг от друга по способу приготовления. Помимо различных штаммов верховых дрожжей, отличающихся большим разнообразием, чем низовые дрожжи, технология приготовления пива верхового брожения более разнообразна. Эти возможности традиционны,

и постепенно они были адаптированы к требованиям, предъявляемым к специальным сортам пива. Ниже мы рассмотрим производство основных типов немецкого пива верхового брожения с соответствующими примерами, поскольку описать все технологические возможности в рамках данной книги невозможно.

8.4.1. Пиво типа *Alt* (регион Дюссельдорфа, Нижнего Рейна)

8.4.1.1. Характерные признаки. Экстрактивность начального сусла — 11,2-12 %, цветность — 25-38 ед. ЕВС, значение pH — 4,15-4,40, конечная степень сбраживания — 71-85 %, горечь — 28-40 ед. горечи ЕВС (в особых случаях, например, у пива *Festbier* — до 60 ед. горечи).

8.4.1.2. Засыпь солода. В засыпи солода существуют очень большие различия. На ряде предприятий пиво приготавливают из светлого солода или солода средней степени окрашенности (цветность — 5-7 ед. ЕВС), проводя корректировку цвета незадолго до окончания кипячения сусла с помощью «красящего пива» (частично при кипячении сусла, частично — в отделении дображивания), а на других предприятиях применяют разнообразные сочетания засыпи солода: или 100 % темного солода цветностью 10-12 ед. ЕВС, или 90 % светлого солода и 10 % карамельного солода (цветность 120 ед. ЕВС); 10-15 % пшеничного солода служат для округления вкуса. Жженный солод (макс. 1 %) получают также из пшеницы.

8.4.1.3. Пивоваренная вода. Часть пива типа *Alt* без каких-либо потерь качества может производиться на жесткой пивоваренной воде (остаточная щелочность

до 10 нем. градусов жесткости). При наличии мягкой воды (например, для параллельного приготовления пива типа *Pilsener*), ее можно использовать и для приготовления пива *muna Alt*. Особых причин для предпочтения жесткой воды (например, чтобы создать более гармоничный или ячменный вкус пива), в общем, нет. Верховые дрожжи и без этого значительно снижают значение pH.

8.4.1.4. Способы затириания. Применяются как инфузионные, так и двухотварочные способы. В простейшем случае применения инфузионных способов замачивание проводят при 52 °C при соотношении «солод-вода» 1:2,5, после чего между паузами (при 62, 70 и 76 °C) добавляют столько горячей воды температурой 85-90 °C, пока не будет достигнута конечная температура затириания 76 °C. Общая продолжительность затириания составляет 150-170 мин. При использовании светлого солода в большинстве случаев применяют одно- или двухзатворный способ затириания при температуре 50-52 °C. Если же преимущественно используется темный солод, то температура затириания составляет 35-37 °C (см. раздел 2.3.3.2). Впоследствии концентрация первого сусла составляет 16,5-19 %, но при использовании фильтр-пресса или стрейнмастера она несколько выше.

8.4.1.5. Кипячение сусла с хмелем. Продолжительность кипячения соответствует рекомендуемой для соответствующей системы кипячения (с внешним кипятивником — 60-70 мин, в котле с двойным днищем — 90-100 мин). Норма внесения хмеля для получения указанных выше значений горечи составляет порядка 80-150 мг α -кислоты/л сусла. Вносят, как правило, сорта ароматического хмеля,

но нередко для формирования основной горечи (в зависимости от того, желателен или нет хмелевой аромат в готовом пиве) используют горький хмель (30-50 %), внося 2-4 его порции при кипячении; средняя продолжительность кипячения сусла с хмелем хмеля составляет около 50-70 % от общей продолжительности кипячения. На небольших пивоваренных предприятиях в отделении дображивания вносят 100-150 г шишкового хмеля или хмелевого порошка на гектолитр сусла (см. раздел 7.4.2.4).

8.4.1.6. Обработка сусла. После отделения осадка взвесей горячего сусла в вирпуле или с помощью центробежных сепараторов для осветления горячего сусла на отдельных пивоваренных предприятиях проводят некоторое сокращение количества осадка взвесей охлажденного сусла (отчасти путем фильтрования сусла через кизельгур, отчасти путем седиментации взвесей охлажденного сусла или с помощью флотации или традиционных чанов для внесения дрожжей). Зачастую в отделении для внесения дрожжей не делают разницы между варками верхового и низового пива; однако внесение дрожжей в пиво верхового брожения в большинстве случаев производится лишь на участке между отделением для внесения дрожжей и бродильным отделением (из соображений разделения двух видов дрожжей в целях избежания инфицирования).

8.4.1.7. Брожение. При норме внесения дрожжей 0,25-0,5 л/гл (количество дрожжевых клеток — 7-15 млн/мл) или внесении 25 % завитков (количество дрожжевых клеток в завитках — 40-60 млн/мл при видимой степени сбраживания 30-50 %) проводят полную аэрацию. Устано-

вочная температура сусла при внесении дрожжей составляет (в зависимости от температуры бродильного отделения, возможности охлаждения бродильных емкостей и хода брожения) 12-20 °С. В течение 8-12 ч возможен долив последующих варок. При *брожении в чане* подъем хмеля начинается через 12-24 ч после внесения дрожжей; выделившийся субстрат снимают. Максимальные температуры в зависимости от вышеуказанных факторов составляют около 17-22 °С, причем при температуре выше 18 °С в зависимости от объема пространства на подъем пены происходит более или менее сильное избыточное пенообразование. Снижение экстрактивности за 24 ч доходит до 6 %. К концу брожения поднявшиеся дрожжи снимают один или два раза. Степень сбраживания при перекачивании на 8-10 % ниже КСС, что позволяет обеспечить достаточное дображивание. Продолжительность брожения составляет 3-5 сут.

При *брожении в танке* (например, в ЦКТ) для ограничения пространства на подъем пены и насыщения CO₂ после первого почкования дрожжей применяют давление 0,5-0,8 бар, и в большинстве случаев в той же емкости проводят созревание. При использовании обычной нормы внесения дрожжей их вносят при температуре 18-20 °С, поддерживая эту температуру в течение всего брожения до достижения КСС. Так как брожение проходит очень интенсивно, то снижение экстрактивности составляет около 6 % в сутки. После расщепления 2-ацетолактата пиво охлаждают в течение 12 ч на 5-6°С, а еще через 12 ч собирают дрожжи из конусной части, то есть без предварительного спуска пива (см. раздел 3.6.1.2). Для расщепления 2-ацетолактата пиво с оставшимся количеством дрожжей (20-40 млн клеток/мл) оставляют при

температуре 18-20 °С до тех пор, пока содержание общего диацетила не станет ниже порогового значения (0,1 мг/л). Как правило, этот процесс продолжается 2-4 сут. За это время дрожжи снимают еще 1-2 раза, предотвращая переход компонентов дрожжей в пиво. Затем пиво в этом танке охлаждают до 0 °С или перекачивают через проточный охладитель в отдельный танк для дображивания.

8.4.1.8. Дображивание и созревание. При традиционной технологии температура в отделении дображивания составляет около 4-5 °С. Перекачивание пива проводят при 10-18 °С (количество дрожжей при этом составляет 15-40 млн клеток/мл). Более высокое значение допустимо в том случае, если пиво через 7-14 сут еще раз переливают, а затем пропускают через охладитель и перемещают в холодный лагерьный подвал. При интенсивных способах брожения (как в танках, так и в чанах), а также во время перекачивания пива на дображивание целесообразно бывает снизить количество дрожжей с помощью сепараторов для молодого пива. Холодное хранение продолжается чаще всего 1-2 нед. Шпунтование должно быть ориентировано на отпуск пива в бочках или бутылках. При наличии низовых дрожжей их в виде завитков (около 10 %, видимая степень сбраживания 25-30 %) можно использовать для улучшения дображивания — прежде всего в лагерьных подвалах (см. раздел 3.5.3.3). Внесение хмеля в лагерьный подвал проводят при перекачивании пива шлангом. Шишковый или порошоквый хмель заливают водой температурой 80-95 °С (1:5) и экстрагируют 30 мин. Затем после охлаждения добавляют хмель и кипяток. Довольно часто шишковый хмель используют в мешках из льняного полотна,

предотвращая тем самым возможность забивки оборудования.

8.4.1.9. Фильтрация и розлив. При повышенном содержании дрожжей в пиве верхового брожения предварительное фильтрование с помощью центрифуги эффективно снижает нагрузку на фильтр. Стабилизация препаратами кремниевой кислоты проводится при необходимости так же, как и при получении пива низового брожения. Так как бочковое пиво зачастую разливается без давления CO_2 , то содержание CO_2 ни в коем случае не должно превышать 4,2-4,5 г/л. Для достижения желаемого высокого содержания CO_2 в бутылочном пиве или пиво в лагерьном подвале должно храниться или шпунтоваться отдельно, или более высокое содержание CO_2 достигается с помощью карбонизатора, установленного между фильтром и блоком розлива в бутылки (это допустимо в том случае, если на предприятии имеется собственный CO_2 брожения).

8.4.2. Пиво типа *Кёльш*

8.4.2.1. Характерные признаки. Экстрактивность начального суслу — 11,2-11,8 %, цветность — 7,5-14 ед. ЕВС, значение рН — 4,15-4,40, конечная степень сбраживания — 79-85 %, горечь - 16-34 ед. горечи ЕВС.

8.4.2.2. Засыпь солода. Используют светлый ячменный солод обычного качества цветностью около 3 ед. ЕВС, к которому иногда добавляют до 20 % пшеничного солода (для улучшения полноты вкуса и гармоничности пива).

8.4.2.3. Пивоваренная вода. Вода из системы коммунального водоснабжения

г. Кельна характеризуется высокой общей жесткостью (25 нем. градусов жесткости), однако лишь половина ее (13°) приходится на бикарбонатную жесткость. Остаточная щелочность составляет около 7 нем. градусов жесткости. На большинстве пивоварен проводят частичную декарбонизацию воды, на некоторых предприятиях имеется мягкая артезианская вода, но на отдельных производствах используют упомянутую жесткую воду.

8.4.2.4. Способы затириания. Изначально для пива Кёльш применялся инфузионный способ, который иногда используют и в настоящее время, но на большинстве предприятий применяют одноотварочный способ затириания. Температуры затириания варьируют в широких пределах в зависимости от качества солода и желаемого состава сусла. Как правило, стремятся достичь содержания α -аминного азота, соответствующего низовым типам светлого пива (21-23 мг/100 мл 12 %-ного сусла или 21-22 % общего азота). Концентрация сусла зависит от используемой системы фильтрования.

8.4.2.5. Кипячение сусла с хмелем. Продолжительность кипячения сусла обычная. Внесение хмеля в настоящее время существенно сократилось. Дозируемое количество α -кислоты варьирует от 70 до 140 мг α -кислоты/л горячего сусла. Первую дозу, частично или исключительно в виде экстракта (а также хмеля, богатый горькими веществами) вносят в начале кипячения или спустя 15 мин после его начала, вторую — за 10-20 мин до перекачивания готового сусла в форме порошкового или шишкового хмеля ароматических сортов. Средняя продолжительность кипячения с хмелем составляет 50-70 % от общей продолжительности кипячения.

Внесение хмеля в бочку через шпунтовое отверстие уже не применяется.

8.4.2.6. Обработка сусла. Аналогично способам обработки сусла для приготовления пива типа *Alt* (см. выше).

8.4.2.7. Главное брожение. При обычной норме внесения дрожжей 0,25-1,5 л/гл (6-40 млн дрожжевых клеток/мл.) и крайнем верхнем значении аэрирование осуществляется с меньшей интенсивностью, чем при крайней низшей величине. Установочная температура сусла при внесении дрожжей составляет 12-22 °С, максимальная температура — 18-22 °С (в отдельных случаях — до 28 °С). В чанах небольшого размера долив семенных дрожжей не проводится или проводится лишь 1-2 раза через 12-24 ч; в крупных танках после внесения дрожжей в сусло и забраживания первой варки остальные варки (до 12) доливают. Как мы уже отмечали в разделе 8.3.4.3, при такой технологии происходит быстрое снижение экстрактивности, и в течение 12-24 ч при условии подачи свежего сусла возникает «статическое состояние» с экстрактивностью 3-4 %. Экстрактивность продолжает снижаться лишь впоследствии, причем брожение завершается в целом через 36-48 ч.

Брожение в чане длится при температурах от 14 до 18 °С 3-4 сут, затем молодое пиво охлаждают до 8-10 °С и перекачивают с обычным содержанием остаточного экстракта. Съем дрожжей осуществляют сверху или после перекачивания путем съема дрожжевой деки. При применении центрифуг для молодого пива скапливающиеся в них дрожжи могут использоваться для внесения в сусло.

Брожение в танке, как и в случае пива типа *Alt*, частично осуществляется под давлением: после наполнения уже забродив-

шей варки до полного объема танка давление в нем при температуре 18-24 °С поддерживается в 0,6-0,7 бар. Сбраживание заканчивается через 48-60 ч, после чего в течение 1 сут происходит снижение содержания 2-ацетолактата. Еще одни сутки длится охлаждение до 3-4 °С. При перемещении в танк для холодного созревания происходит снижение количества дрожжей на центрифуге до 3-8 млн клеток/мл, а охладитель позволяет снизить температуру до 0...-1 °С.

8.4.2.8. Дображивание и созревание. Условия дображивания и созревания — такие же, как и пива типа *Alt*. На некоторых пивоваренных предприятиях продолжительность дображивания и созревания составляет 40-60 сут, причем вполне допустимы температуры 4-5 °С. Экстрактивность пива снижается до 0,7-1 %. В предшествующей фазе используются температуры холодного созревания 0-1 °С, и продолжительность созревания составляет 14-40 сут. Шпунтование проводят по требованиям к бочковому или бутылочному пиву — отчасти по принципу снижения давления шпунтования лишь незадолго до фильтрования.

8.4.2.9. Фильтрование и розлив. Перед кизельгуровыми и пластинчатыми фильтрами почти всегда размещают сепараторы. Применяются такие же стабилизирующие средства, что и для пива типа *Alt* или прозрачного пшеничного пива (*Kristallweizen*).

8.4.3. Пшеничное бездрожжевое пиво

8.4.3.1. Характерные признаки. Экстрактивность начального сусла — 11-12 % (об экспортном пшеничном пиве и др. сортах см. раздел 7.2), цветность — 7-12 ед.

ЕВС, значение рН — 4,1-4,3, конечная степень сбраживания — 78-85 %, горечь — 12-18 ед. горечи ЕВС, содержание CO₂ — 0,7-0,9 %. Производятся также темные сорта пшеничного пива (цветностью 40-60 ед. ЕВС).

8.4.3.2. Засыпь солода. Пшеничное пиво должно не менее чем на 50 % состоять из пшеничного солода. В бездрожжевых сортах пшеничного пива, которые должны быть светлыми, используются только светлые типы пшеничного (см. раздел 1.9.1.4) и ячменного солода (цветностью около 3,0 ед. ЕВС). Доля пшеничного солода составляет 50-70 %. Для усиления солодового характера пива возможно использование 2-4 % солода типа *Carapils* (цветностью 4,0 ед. ЕВС) или *Carahell* (цветностью 30-40 ед. ЕВС).

8.4.3.3. Пивоваренная вода. Для пшеничного пива данного типа декарбонизацию обычно проводят до значения остаточной щелочности в 2-4 нем. градуса жесткости. Добавка гипса или хлорида кальция еще больше снижает значение рН затора, уменьшает буферизацию и улучшает стабильность цвета в процессе приготовления пива. Благодаря этим мерам зачастую стремятся уменьшить остаточную щелочность до 0... -1° нем. градусов жесткости. Ионы кальция препятствуют осаждению солей щавелевой кислоты в готовом пиве (см. раздел 7.6.6). Применение неподготовленной пивоваренной воды с остаточной щелочностью 8-12 нем. градусов жесткости в некоторых случаях требует использования кислого солода.

8.4.3.4. Способы затирания. Для повышения содержания влаги в солоде более чем на 2 % (см. раздел 2.2.2.3) целесообразно проводить кондиционирование солода

и его мокрое дробление, что позволяет сохранить плодовую и семенную оболочки пшеницы, необходимые для образования фильтрующего слоя. Так как в пшеничном солоде доля высокомолекулярного азота достаточно высока, то традиционные одно- и двухотварочные способы затирания начинают применять при температуре 35-45 °С. Затирание при температуре 35 °С с нагреванием до 50 °С примерно через 20 мин стимулирует также процесс расщепления также β -глюканов. Для поддержания расщепления белка используют 20-30-минутную белковую паузу при 50 °С или ступенчатый процесс (в течение 7-10 мин при температурах соответственно 47, 50 и 53 °С). Благодаря этому достигается содержание α -аминного азота 20-23 мг/100 мл 12 %-ного сусла или содержание общего азота около 18 %. Параллельно благодаря гидролитическому расщеплению пентозанов или по связи с арабинозой выделяется феруловая кислота. Пониженные температуры затирания (около 37-47 °С) вызывают существенное повышение содержания феруловой кислоты. В связи с этим наиболее благоприятной является температура 44 °С. При 60-90-минутном выдерживании остатка затора при 35-40 °С (см. раздел 2.3.3.2) образуется достаточное количество феруловой кислоты (в пшеничном солоде ее содержится меньше, чем в ячменном). Оптимизировать процессы расщепления всех групп веществ способны кислый солод или молочная кислота, полученная биологическим способом, однако при снижении значения pH затора ниже 5,7 выделение феруловой кислоты сокращается. Прямому микроскопическому контролю дрожжей мешают погибшие молочнокислые бактерии, и в зависимости от обстоятельств для этого необходимы селективные методы анализа.

Если одно- и двухотварочный способы затирания (см. разделы 2.3.3.2-2.3.3.3) почти не вызывают различий в составе сусла и пиве, то однородность качества лучше обеспечивается при двухотварочном способе. Прежде всего это заметно по йодной реакции, которая в заторах для пшеничного пива более проблематична, чем в заторах из ячменного солода. Первоначально соотношение засыпи к главному наливу составляло 1 : 3, что позволяло поддерживать на возможно более низком уровне количество первого сусла (экстрактивность 21 %), которое служило своего рода «подкормкой». В настоящее время этот принцип не соблюдают. Общая продолжительность затирания составляет в зависимости от количества отварок 3-4 ч. Чтобы фильтрование в фильтр-чане прошло быстро, требуется очень тщательное дробление с кондиционированием и хорошо отлаженный процесс затирания — в противном случае невозможно выдержать трехчасовую последовательность варок.

8.4.3.5. Кипячение сусла с хмелем. Сусло с долей пшеничного солода 50-60 % содержит большое количество коагулируемого азота. По сравнению с сусликом из ячменного солода требуется более интенсивное кипячение, которое у котлов с двойным днищем может продолжаться примерно на 20 % дольше, чтобы остаточное содержание коагулируемого азота не опустилось ниже 3,5 мг/100 мл. Благодаря сильному снижению pH при брожении оно снижается до 1-1,5 мг. Внутренние и внешние кипяильники при использовании закрытых котлов приводят к чрезмерно глубокому осаждению белка, так что продолжительность кипячения с внутренним кипяильником при 102,5 °С (см. раздел 2.5.1) составляет всего 80 мин,

а с внешним кипятильником при 104 °С — около 65 мин (чтобы не опуститься ниже предельного значения 3 мг/100 мл 12%-ного сусла). В противном случае — особенно у фильтрованного (и стабилизированного) пшеничного пива — может ухудшиться качество пены. Доза внесения хмеля невысока: если она составляет около 40-50 мг α -кислоты на 1 л горячего охмеленного сусла, то следует использовать не только горькие сорта хмель — вторая порция, вносимая через половину времени кипячения, должна состоять из ароматических сортов хмеля. Значение рН горячего охмеленного сусла составляет около 5,6-5,7, что обусловлено пшеничным солодом. Корректировка значения рН при кипячении сусла может положительно сказаться на брожении и дображивании и должна быть направлена на достижение значения рН молодого пива 4,15-4,20. Содержание ДМС в сусле из пшеничного солода играет второстепенную роль. Содержание азота в сусле в зависимости от количества расщепляемого белка пшеничного солода находится на уровне 110-130 мг/100 мл, причем доля высокомолекулярного азота должна составлять около 40-43 %, а свободного α -аминного азота — около 18 %. Содержание полифенолов существенно ниже, чем в сусле из ячменного солода; вязкость должна составлять менее 2 мПа · с.

8.4.3.6. Обработка сусла. На небольших пивоваренных предприятиях, варящих пшеничное пиво, еще можно встретить холодильные тарелки, которые вполне могут быть заменены вихрем и сепаратором для осветления горячего сусла (если с отделением осадка взвесей горячего сусла все в порядке, а термическая нагрузка не выходит за установленные

границы, см. раздел 2.7.3.2). Отделение осадка взвесей холодного сусла с помощью флотации, фильтрования или чана для внесения дрожжей приводит к существенному снижению нагрузки на деку. При флотации удаляются прежде всего неизомеризованные α -кислоты. Флотация (при известных условиях — с дополнительной аэрацией) интенсифицирует размножение дрожжей и улучшает брожение, особенно при брожении в танках. Содержание взвесей охлажденного сусла в сусле для пшеничного пива в несколько раз выше, чем в сусле из ячменного солода.

8.4.3.7. Главное брожение. Дрожжи (0,3—0,5 л/гЛ) можно добавлять при охлаждении сусла, и они не препятствуют флотации. Возможно введение семенных дрожжей доливом в первые 12 ч или внесение дрожжей в стадии высоких завитков (видимая степень сбраживания — 30 %). При установочной температуре сусла при внесении дрожжей 15 °С максимальная температура достигает 18-22 °С. При брожении в чанах без охлаждения ее превышение из-за риска инфицирования следует предотвращать путем согласования нормы внесения дрожжей, установочной температуры сусла при введении дрожжей и температуры помещения. При правильной форме кромки чана и при соответствующем наполнении емкости поднявшийся хмель со взвесями вытесняются, как и поднявшиеся дрожжи. Если этого не происходит, то дрожжи снимают несколько раз. Нередко сьем дрожжей проводят лишь в конце брожения; при перекачивании плотная дека оседает на дне чана, и ее удаляют с помощью специальных лопат. То же относится и к горизонтальным танкам, если в них отсутствует устройство для съема под-

нявшейся пены. В ЦКТ дрожжи можно собирать из конусной части после того, как будет достигнута конечная степень сбраживания — в противном случае получается молодое пиво, очень насыщенное дрожжами, которые частично присутствуют в виде суспензии, а частично — на поверхности. Здесь рекомендуется собирать дрожжи с помощью центрифуги для молодого пива, причем у дрожжей дольше сохраняются их типичные свойства, в частности, специфический спектр побочных продуктов брожения (количество и соотношение высших алифатических спиртов и сложных эфиров, а также типичных ароматических компонентов пшеничного пива — 4-винилгваякола и 4-винилфенола). Центрифуга для молодого пива, подсоединенная через байпас, позволяет регулировать количество необходимых для созревания пива дрожжевых клеток на уровне 30-50 млн. Если для дображивания добавляется «подкормка», то степень сбраживания молодого пива обычно вплотную приближается к КСС. Если же дображивание проводят с остаточным содержанием экстрактивных веществ из молодого пива, то перекачивание молодого пива в емкости для дображивания следует выполнить так, чтобы в каждой такой емкости было именно это количество остаточного экстракта, что достижимо при разности содержания экстрактивных веществ к КСС не менее 2 %. При этом необходимо предусмотреть самовсасывающий насос для молодого пива, позволяющий перемещать соответствующую партию в отделение дображивания в течение не более 2 ч. Снижение экстрактивности за этот период времени еще может составить 0,2-0,3 %. Урожай дрожжей к этому моменту еще довольно скуден, а количество дрожжей в «теплом танке» относительно ве-

лико (50-70 млн клеток/мл). В этом случае может оказаться полезным применение сепаратора для молодого пива (см. выше).

8.4.3.8. Дображивание. Изначально технология предусматривала разделение на «теплую» и «холодную» фазы дображивания. В первой фазе танки температура в помещении с танками составляла 12-17 °С (или емкости должны иметь специальную «рубашку» или карманы). В зависимости от температурного режима шпунтование осуществляется с избыточным давлением 3-5 бар, на которое должны быть рассчитаны танки и запорная арматура (допуск по давлению 1 бар и выше). При использовании «подкормки» молодое почти отбродившее пиво с температурой 17-20 °С попадает в теплый танк. «Подкормку» вносят в большие емкости под давлением во время перекачивания, после чего сразу же начинается дображивание и в течение нескольких часов достигается давление шпунтования (СО₂ выходит через шпунт-аппарат). Сбраживание экстрактивных веществ «подкормки» длится 36-60 ч, после чего выдерживается дополнительная пауза (около 24-36 ч) для уменьшения содержания вицинальных дикетонов). Таким образом, теплая выдержка продолжается от 3 до 4 сут (при наличии аналитического контроля диацитила ее можно сократить).

Внесение «подкормки» очень важно для обеспечения интенсивности дображивания и содержания СО₂. Как правило, такая «подкормка» должна добавлять 1,6 % сбраживаемых экстрактивных веществ сусла. Раньше «подкормку» повсеместно получали из 20 %-ного первого сусла, и в ней при кипячении в стерилизаторе происходила инактивация фер-

ментов и подавление жизнедеятельности микроорганизмов. Для получения указанной выше разности экстракта требовалось около 11 % «подкормки», благодаря чему соответственно повышалась экстрактивность начального сусла. В этом случае содержание экстрактивных веществ начального сусла было меньше и достигало желаемого показателя готового пива лишь после смешивания с «подкормкой».

В настоящее время нередко предпочтение отдается более простому способу: около 15 % первого сусла («белого» пива или подходящего сорта низового пива) сначала подают через пластинчатый охладитель с температурой 15-20 °С в предварительно стерилизованный «танк для подкормки» или сразу же направляют в теплый танк. Из соображений микробиологической безопасности «подкормка» должна храниться не более 24 ч. При использовании сортов пива низового брожения это необходимо учесть путем соответствующего повышения доли пшеничного солода, а также корректировки начального сусла и нормы внесения хмеля. При теплом дображивании необходимы температуры 18-20 °С, которые не должны быть ниже температур главного брожения более чем на 2 °С. Если в результате использования более холодного помещения или слишком холодной «подкормки» происходит охлаждение, то дображивание может существенно замедлиться или даже прекратиться, а желаемые значения степени сбраживания готового пива, содержания CO₂ и необходимое снижение содержания вицинальных дикетонов могут не достигаться. Слишком высокие температуры способствуют инфицированию пива.

При использовании способа «без подкормки» перекачивание должно произ-

водиться со средней разностью экстрактивных веществ относительно КСС около 2 % (около 1,6 % сбраживаемого экстракта), при температуре 15-18 °С и количестве дрожжевых клеток 30-50 млн (см. предыдущий раздел). При температуре помещения 10-15 °С дрожжи сбраживают этот экстракт достаточно глубоко, и начинающееся охлаждение замедляет процесс. Может случиться, что при перепаде температур, например от 16 до 12 °С, потребуется теплая выдержка в течение 7-10 сут, в ходе которой необходимо контролировать содержание общего ди-ацетила. Если снятых дрожжей из бро-дильной емкости оказалось недостаточно, то для повторного внесения могут быть использованы осевшие в ходе дображивания дрожжи.

Для *холодной выдержки* пиво перекачивают в отдельные танки, установленные в соответствующем холодном помещении или снабженные охлаждающей рубашкой или карманами. Охлаждение до температуры 10-12 °С может осуществляться непосредственно при перекачивании. Чтобы добиться последующего замедленного дображивания и удалить неизбежно захваченный кислород, добавляют 1-2 % низовых завитков (введенных в сусло с 1-1,5 л дрожжей / гл). Шпунтование поддерживается на уровне 4-5 бар. После выдержки в течение 4-7 сут при температуре 10-12 °С пиво охлаждают до 0...-1 °С и выдерживают в течение 1-2 нед. Недостаток слишком длительной выдержки с еще относительно большим содержанием верховых дрожжей (4 млн клеток) заключается в том, что продукты их жизнедеятельности попадают в раствор, что выражается в повышении значения рН, увеличении содержания низкомолекулярных азотистых веществ и низкомолекулярных свобод-

ных жирных кислот, что может отрицательно сказаться на пеностойкости; кроме того, пиво приобретает дрожжевой привкус.

Технология теплой и холодной выдержки, применяемая на отдельных предприятиях, существенно отличается. Например, при созревании и холодной выдержке в ЦКТ смены танка не требуется; после снижения содержания 2-ацетолактата до менее чем 0,15 мг/л в течение 24 часов пиво охлаждают до 7 °С, дрожжи по возможности медленно снимают (чтобы собрать в вязко-пластичном состоянии), а затем продолжают охлаждать до -1 °С. При этом важно снимать дрожжи 1-2 раза в неделю. Если необходимое оборудование на танках высокого давления отсутствует, то желаемые параметры можно также получить путем однократной или двукратной карбонизации с помощью CO₂, полученного на предприятии. Кроме того, один из способов заключается в теплом (при 15-20 °С) ведении брожения в бродильном отделении до степени сбраживания 45-55 %, после чего следует охлаждение пива до 10 °С, отделение верховых дрожжей путем центрифугирования и добавление низовых дрожжей (0,5-0,7 л/гл). Брожение осуществляется при температуре в помещении около 5 °С в условиях медленно снижающейся температуры пива; давление шпунтования достигает 2,5 бар, происходит связывание 0,8-0,9 % CO₂, однако степень сбраживания не превышает 65-70 %. Если процесс в отдельных цехах можно вести автономно, то пиво выдерживается здесь до конца; в противном случае через 2-3 нед. его перекачивают с охлаждением в отделение стабилизации, где пиво выдерживают 1-3 нед. Так как дрожжи верхового брожения были заблаговременно отделены,

то такое пиво характеризуется очень нейтральным вкусом.

8.4.3.9. Фильтрация и розлив. Благодаря многократному перекачиванию пшеничное пиво верхового брожения при условии нормального состава и достаточной выдержки отлично фильтруется. Полезно использовать низкотемпературный охладитель перед фильтром, способный разгрузить также сепаратор пива. Если молодое пиво уже было центрифугировано, то повторное сепарирование может не потребоваться. Так как сорта пшеничного пива обладают повышенной чувствительностью к осадкам солей щавелевой кислоты, то рекомендуется специальная обработка фильтра (см. раздел 7.6.6.1). Для обеззараживания пива используют обеспложивающие фильтры или аппараты для кратковременной высокотемпературной обработки, которые должны быть рассчитаны на работу при повышенном давлении (при 0,9 % CO₂ и температуре 70 °С давление составляет около 16 бар), что позволяет избежать образования очень мелких пузырьков CO₂ и тем самым предотвратить белковое помутнение пива. Для розлива используют блоки розлива высокого давления (с рабочим давлением 5-5,5 бар). В узлах без наливной трубки предварительное вакуумирование с помощью создания избыточного давления CO₂ обеспечивает высокую производительность, которая лишь на 10 % ниже производительности для нормально шпунтованных типов пива. Важным условием бесперебойного розлива является низкая температура (1-2 °С); в зависимости от имеющихся условий пиво должно отстояться в течение 12-24 ч в помещении для танков фильтрованного пива с соответствующим охлаждением. Поглощение кислорода

здесь следует поддерживать на низком уровне с помощью необходимых мер. Учитывая существующие каналы сбыта, может понадобиться стабилизация пива (например, препаратами кремниевой кислоты).

8.4.4. Пшеничное дрожжевое ПИВО

8.4.4.1. Характерные признаки. Экстрактивность начального сусла — аналогично бездрожжевому пшеничному пиву (см. раздел 8.4.3.1). Цветность у светлых типов пива — 8-14 ед. ЕВС, у тёмных — 25-60 ед. ЕВС, значение pH 4,1-4,4, конечная степень сбраживания — 76-83 %, горечь — 10-14 ед. горечи ЕВС, содержание CO_2 - 0,55-1,0 %.

8.4.4.2. Доля пшеничного солода (кондиционированного или мокрого помола) составляет не менее 50-100 %. Цветность солода составляет около 3-5 ед. ЕВС для обоих типов солода. Улучшение гармоничности вкуса достигается с помощью 3-5 % карамельного солода (цветностью 30-40 ед. ЕВС) или 0,5-1 % темного карамельного солода (цветностью 120—140 ед. ЕВС). Тёмные сорта пшеничного пива содержат долю ячменного солода в форме темного солода (10-15 ед. ЕВС), или в дополнение к пшеничному солоду подбирают тёмный пшеничный солод или тёмный карамельный солод (в количестве до 5 %). Цвет засыпи должен быть сбалансированным, с учетом отклонений цвета отдельных параметров компонентов смеси. Жжёный пшеничный солод (около 1 %) или «красящее пиво» используют для окончательной корректировки цвета.

8.4.4.3. Пивоваренная вода. Используют как мягкую пивоваренную воду (как

у пшеничного бездрожжевого пива, см. выше), так и воду от средней жесткости до жесткой (10-12 нем. градусов остаточной жесткости). Пшеничное дрожжевое пиво по цвету и характеру невосприимчиво к жесткой воде. Кислый солод, хотя и полезен с точки зрения вкуса, но затрудняет непосредственный микроскопический анализ дрожжей. Как мы уже отмечали выше, при значениях pH ниже 5,7 феруловая кислота как предшественник 4-винилгваякола продуцируется в меньшем количестве.

8.4.4.4. Способы затирания. Применяются методы, описанные выше. При осветлении пива без фильтрования может потребоваться продление белковой паузы (особенно при одноотварочном способе затирания солода) до 35-45 мин. Соотношение засыпи к главному наливу составляет 1:3, но иногда его выбирают немного большим.

8.4.4.5. Кипячение сусла проводятся так же, как описано в разделе 8.4.3.5. Недостаточное кипячение препятствует осветлению пшеничного дрожжевого пива, а следствием слишком интенсивного кипячения может стать ухудшение пенообразующих свойств. Норма внесения хмеля должна быть меньше, чем у фильтрованного пива; следовательно, дозировка α -кислот составляет лишь 30-40 мг/л, причем рекомендуется использовать не менее 50 % ароматических сортов хмеля (две дозы — горький и ароматический хмель). Биологическое подкисление с учетом значения pH получаемого пива считается целесообразным, но не обязательным.

8.4.4.6. Обработка сусла — как для пшеничного бездрожжевого пива.

8.4.4.7. Главное брожение проводят как для пшеничного бездрожжевого пива, доводя, как правило, почти до КСС. Сбор дрожжей осуществляется путем съема деки или (после окончательного перекачивания молодого пива) — с дна броидильного чана. В ЦКТ может использоваться описанная выше технология (см. раздел 8.4.3.7).

8.4.4.8. Дображивание проводят разными способами. *Классический способ* предусматривает следующие стадии: молодое пиво перекачивают в смесительный чан с медленно работающей мешалкой (8-12 об/мин) и вносят туда «подкормку» (см. раздел 8.3.6) и, возможно, 0,1 % дрожжей низового брожения. Используют меньшее количество «подкормки», чем для бездрожжевого пива, поскольку CO_2 невозможно удалить. Чтобы не превысить обычного содержания CO_2 и избежать перешпунтования, как правило, разрешается вносить лишь такое количество «подкормки», чтобы разность между содержанием экстрактивных веществ смеси и видимой КСС составляла 1,2-1,3 %. В настоящее время считается достаточным содержание CO_2 0,65 %. Так как верховые дрожжи очень интенсивно сбраживаются, в том числе в конце процесса брожения, то в ходе розлива следует контролировать видимый экстракт и при необходимости еще раз внести «подкормку». Целесообразно подбирать смесительный танк такого размера или, соответственно, заполнять его так, чтобы содержимого хватало примерно на 2 ч розлива.

Один из вариантов этого способа состоит в частичном или полном фильтровании молодого пива, причем «подкормку» вносят в магистраль пива перед фильтром. В осветленное пиво, в зависимости

от его будущего характера, вносят низовые или верховые дрожжи (или их смесь). Подбор температуры фильтрования позволяет регулировать степень мутности готового пива.

На некоторых предприятиях молодое пиво выдерживают перешпунтованным в цехе дображивания при температуре 5-6 °С. При этом должно быть проведено еще одно, пусть и незначительное, дображивание. Промежуточная выдержка обуславливает определенное осветление, которое в танке (но не в бутылке!) разрешается поддержать рыбьим клеем (см. раздел 8.3.6.4). Фильтрование пива в этом случае может казаться излишним.

Вместо низовых дрожжей разрешена добавка низовых завитков в количестве до 15 %. Если они характеризуются степенью сбраживания около 30 %, то можно без дополнительной дозы «подкормки» внести такое количество экстракта, которое необходимо для достижения желаемого содержания CO_2 . Вместе с тем заслуживает внимания то обстоятельство, что и у низовых завитков может отмечаться значительное снижение экстрактивности в течение 1 сут розлива.

В настоящее время «белое» пиво, розлитое в бутылки, по классическому способу выдерживают 2-3 сут при 15-20 °С, пока контрольные манометры, установленные на 2 бутылках в каждом смесительном чане, не покажут давления шпунтования 2-3,5 бар, что является признаком осветления пива. Затем пиво перемещают в холодное помещение (с температурой 2-4 °С) или переключают систему кондиционирования воздуха с режима «нагрев» на «охлаждение». Холодная созревание продолжается затем еще 2-4 нед. При использовании низовых завитков возможно

проведение созревания при температуре 5-7 °С, однако в этом случае продолжительность созревания не должна превышать 4 нед.

Предприятия, производящие пшеничное бездрожжевое пиво, нередко выбирают более простой, но более дорогой с точки зрения капиталовложений путь: пиво выдерживается в танках для брожения под давлением как в «теплом», так и «холодном» отделении до готовности к выпуску. Давление шпунтования при этом рассчитано лишь на содержание CO₂ около 0,6 %. При фильтровании же дозируют такое количество «подкормки», чтобы разность содержания экстрактивных веществ к видимой степени сбраживания составила 0,4 %. На пути к установке розлива в бутылки в пиво вносят низовые или верховые дрожжи (или их смесь). Прецизионный дозирующий насос работает синхронно с установкой розлива. Для такого пива, уже созревшего в отделении дображивания, требуется лишь такая продолжительность выдержки при обычных температурах хранения, которая необходима для седиментации дрожжей.

С недавних пор во многих регионах Германии стало популярным «мутное» пшеничное дрожжевое пиво. При реализации в розлив часть фильтрованного пшеничного пива (50-100 мл), которое после внесения «подкормки» и добавления верховых дрожжей хорошо осветлилось, оставляют в бутылке, интенсивно взбалтывают и добавляют к уже розлитому в бокал пиву. Благодаря этому образуется более или менее однородное помутнение, однако нередко дрожжи распределяются в пиве в виде довольно крупных хлопьев, что может служить основанием для рекламаций. Такое коагулирование дрожжей при дображивании

в бутылках встречается реже, чем при брожении в танках, хотя здесь также добавляют немного экстракта, чтобы сохранить необходимое состояние дрожжей. У свежих дрожжей, то есть у свежесобранных и сразу же использованных, это явление проявляется в меньшей степени, чем у дрожжей, хранившихся более продолжительное время. При добавлении дрожжей к небольшому количеству остаточного экстракта низовые дрожжи ведут себя более стабильно.

Так как «прозрачное» белое дрожжевое пиво пользуется все меньшим спросом, вошел в употребление метод, при котором пиво сразу же после главного брожения центрифугируют, а затем добавляют дрожжи или «подкормку» для дображивания в бутылках. При брожении в танках пшеничное пиво центрифугируют и в таком состоянии проводят розлив в бутылки. Для получения желаемого количества дрожжей их дополнительно вносят (низовые или смесь из низовых и верховых дрожжей) в количестве около 3 млн клеток. При этом важно добавить перед центрифугой еще около 0,1 % экстракта, соответствующего 0,4 % степени сбраживания. Для обеспечения биологической стойкости пиво сразу после центрифугирования или после буферного и дрожжевого танка (но без добавления экстракта) можно направить через аппарат для кратковременной высокотемпературной обработки. В большинстве случаев он работает более 40 с при температуре 72 °С (требуемый уровень давления составляет около 9 бар). При этом необходим розлив в бескислородной среде.

В последнее время стало популярным дображивание в кегах, при котором добавляется такое количество «подкормки»,

чтобы содержание CO_2 составило около 0,6 %. После выбраживания экстракта и диацетиловой паузы при 12–13 °С с дозированием низовых и верховых дрожжей при 18–20 °С кеги штабелируют на поддоны и размещают в холодном отделении, выдерживая их около 2 нед. при температуре 4 °С (охлаждение может проводиться и в отделении дображивания с регулированием температуры), в котором в большинстве случаев пиво в кегах и бутылках выдерживается вместе. При известных условиях в кегах также возникает проблема хлопьевидных дрожжей, в связи с чем зачастую в кеги дозируют только неосветленное пиво из танков или же центрифугированное пиво. При этом для розлива требуется высокое давление. Реализация пшеничного дрожжевого пива в розлив из кегов является особой задачей: требуется холодная выдержка пива в местах розлива, установка компенсационных кранов, чтобы повышенное содержание CO_2 в пиве наблюдалось и в бокале и, самое главное, обеспечение надлежащего санитарно-гигиенического состояния арматуры для розлива, которая должна тщательно контролироваться производителем пива.

На вопрос о том, какие дрожжи, низовые или верховые, более предпочтительны для дображивания в бутылках, дать ответ затруднительно. Верховые дрожжи плохо оседают, в так как использовать белужий клей в качестве осветлителя уже не разрешается, то пиво остается более или менее «естественно мутным». Вместе с тем придонный осадок нередко становится вязким и хлопьевидным, что приводит впоследствии к хлопьеобразованию при розливе. Кроме того, дрожжи верхового брожения более склонны к автолизу, чем низовые, так что

пиво не готово к нагрузкам, возникающим, в частности, в оптовом товарообороте или при чрезмерно долгом хранении. В большинстве случаев вводят смесь из верховых и низовых дрожжей или (у сортов пива, подкачанных в танк) только низовые дрожжи. Наиболее важные характерные признаки (содержание высших спиртов и сложных эфиров, а также 4-винилгваякола) задаются уже при главном брожении, так что дображивание в бутылках имеет лишь ограниченное действие. При брожении в танках весь процесс брожения, дображивания и холодного созревания протекает с дрожжами верхового брожения. Местные пивоваренные предприятия продолжают применять традиционное брожение в бутылках с верховыми дрожжами, однако при этом возникают трудности, связанные с требованиями рынка, требующего иногда слишком длительного срока годности.

8.4.5. Пиво типа *Berliner Weißbier*

8.4.5.1. Характерные признаки. Название пива «Берлинер Вайсе» указывает на его происхождение, и его разрешается использовать лишь берлинским пивоваренным предприятиям. Раньше «берлинское белое» варили с любой экстрактивностью начального сусла (ординарное и крепкое пиво), но в настоящее время оно предлагается только в виде пива в розлив (экстрактивность начального сусла 7–8 %, цветность — 5–8 ед. ЕВС, значение pH — 3,2–3,4, конечная степень сбраживания — иногда более 100 %). Так как часть экстракта сброжена молочной кислотой, то содержание спирта составляет лишь около 2,5–3 % об., а горечь — 4–6 ед. горечи ЕВС, содержание CO_2 —

от 0,6 до 0,8 %. Содержание молочной кислоты составляет 0,25-0,8 %. Это пиво характеризуется кислым вкусом, который в зависимости от способа приготовления и возраста пива сопровождается выраженной приятной эфирно-цветочной нотой. Нередко такое пиво употребляют с сиропом из малины или ясенника.

8.4.5.2. Засыпь солода. От 66 до 75 % — пшеничный солод, остальное — ячменный солод.

8.4.5.3. Пивоваренная вода. Используют среднежесткую и жесткую воду (остаточная щелочность — до 10 нем. градусов жесткости).

8.4.5.4. Способы затириания. Раньше применяли трех- или двухотварочный способы затириания, но в настоящее время используют преимущественно инфузионный способ. В классическом способе хмель вносили в затор (от 75 до 100 г/гл сусла), благодаря чему улучшалось фильтрование больших засыпей пшеничного солода и максимальное количество горьких веществ оставалось в дробине.

8.4.5.5. Обработка сусла. Первоначально сусло из сборника попадало прямо на холодильную тарелку, сразу же охлаждалось и в него вносили дрожжи. Затем в целях стерилизации в сусловарочном котле происходило нагревание до 85-88 °С.

8.4.3.7. Главное брожение. В используемых верховых дрожжах содержится определенное количество молочнокислых бактерий (4-6:1), размножение которых в зависимости от условий брожения

или стимулируется, или подавляется. При повышенных температурах брожения, например более 20 °С, происходит интенсивное размножение дрожжей с повышенным образованием кислоты. Бактерии поднимаются вместе с дрожжами к деке и присутствуют в семенных дрожжах следующей варки в заданном количестве. Рекомендуется их немедленно снова ввести в сусло, так как они плохо переносят хранение более 1-2 сут. При этом наиболее благоприятна температура около 10 °С. Продолжительность брожения несмотря на низкое содержание начального сусла составляет 4 сут, так как размножению дрожжей препятствует концентрация молочной кислоты. Степень сбраживания сусла (молодого пива) оставляют 75-80 %.

8.4.5.6. Дображивание. При перекачивании пиво поступает в сборник, где в него вносят около 10 % завитков (осветляющие средства не применяются) и производится немедленный розлив в бутылки. При температуре в отделении дображивания 15-16 °С содержание CO₂ доходит до указанных выше значений. Пиво осветляется: дрожжи, компоненты осадка взвесей сусла и молочнокислые бактерии оседают с образованием плотного придонного осадка. По окончании брожения и достижения желаемой степени образования кислоты пиво выдерживают при более низких температурах (8-10 °С). Общая продолжительность такого созревания составляет 3-4 нед., однако тонкий букет при этом продолжает формироваться, и при выдержке в течение 2-3 лет пиво может приобрести великолепный цветочный характер. В связи с вышеизложенным огромное значение придается обращению с пивом в местах реализации или у потребителей.

8.4.5.7. Проблемы при изготовлении. Определенную опасность представляет собой «ослизнение» пива, так как с увеличением вязкости пиво приобретает слизистую консистенцию вследствие действия слизиобразующих педиококков. В таком состоянии пиво реализации не подлежит, но через какое-то время (обычно через несколько месяцев) это явление исчезало и развивались привычные свойства, хотя и с существенным опозданием. Слизь образовывалась преимущественно после добавления чистой культуры молочной кислоты для брожения. Испортить пиво могли и термобактерии сусла. Следует также отметить и подверженность пива действию уксуснокислых бактерий, которые в случае позднего перекачивания пива могут распространиться по большой поверхности бродильных чанов.

8.4.5.8. Модификации методов производства. Симбиоз дрожжей и молочнокислых бактерий на различных технологических стадиях современного массового производства и дистрибуции сопряжен с определенным риском. Был предложен и частично реализован способ выращивания чистой культуры дрожжей в молочнокислом сусле с последующим смешиванием этого сусла с продуктом брожения верхних дрожжей. При такой технологии сохраняется брожение со смешанной культурой из дрожжей и молочнокислых бактерий, что позволяет сформировать характер пива *Berliner Weisse*. Ведение процесса дображивания также осуществляют по-разному: например, существует способ холодного созревания с использованием завитков низовых дрожжей.

8.4.6. Сладкое солодовое ПИВО

8.4.6.1. Характерные признаки. За исключением Баварии и Вюртемберга, для приготовления диетического пива верхового брожения допускается применение сахара, сахарного сиропа и карамельного колера. Такое пиво приготавливают с экстрактивностью 7-8 %, после чего в отфильтрованном состоянии добавляют такое количество сахара, чтобы в результате получить массовую долю СВ начального сусла около 12 %. Содержание спирта в зависимости от наименования («слабоалкогольное» или «безалкогольное») составляет соответственно менее 1,5 или 0,5 %об. Значение рН в зависимости от способа приготовления сусла или степени сбраживания находится в пределах 4,5-4,9 %; содержание CO₂ составляет от 0,4 до 0,5 %, цветность в зависимости от типа пива — 50-80 ед. ЕВС, а содержание горьких веществ невелико — от 6 до 10 ед. горечи ЕВС.

8.4.6.2. Засыпь солода. 65-80 % — темный солод (возможно использование 3-5 % темного карамельного солода цветностью 120-140 ед. ЕВС), а остальное — светлый солод обычного качества. Для снижения рН сусла и пива до желаемых величин рекомендуется использовать кислый солод (3-5 %).

8.4.6.3. Приготовление сусла. При производстве темного пива особых требований к пивоваренной воде не предъявляется, так как подходят все типы воды (остаточная щелочность — до 12 нем. градусов жесткости). Применяются инфузионный, одно- и двухотварочный способы затирания солода, нередко с температурой затирания 37 °С. Благодаря повышенным

температурам осахаривания конечную степень сбраживания снижают для более слабого сбраживания. Кипячение суслу в зависимости от применяемой системы продолжается 60-90 мин; норма внесения хмеля — около 15-20 мг альфа-кислоты/л суслу. Кипячение суслу проводится по обычной технологии.

8.4.6.4. Брожение. При установочной температуре суслу при внесении дрожжей около 10 °С и дозировке дрожжей 0,3-0,5 л/гл примерно через 24 ч достигается степень сбраживания 12-25 % (в пересчете на 8 %-ное сусло). Это соответствует содержанию спирта 0,3-0,8 %. После съема деки в броидильных чанах проводят охлаждение до 2-3 °С и перекачивание.

8.4.6.5. Дображивание, созревание и фильтрование. Дображивание проводят в отделении дображивания при температуре 1-3 °С с незначительным повышением степени сбраживания до 15-32 %, благодаря чему содержание спирта впоследствии составляет 0,45-1,2 % и создается удовлетворительное насыщение CO_2 . Дображивание продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты указанные значения степени сбраживания. В заключение проводят фильтрование, причем зачастую с применением помимо кизельгурового фильтра центрифуги (сепаратора). Рекомендуется использовать низкотемпературный охладитель до или после центрифугирования, так как в этом случае при температурах около 1 °С можно скорректировать содержание CO_2 до заданного значения (путем добавления CO_2 , полученного на данном предприятии). В танк для брожения под давлением заранее вносят расчетное количество са-

хара (80 % карамелизованного пивоваренного сахара или смесь этого сахара с сахарным сиропом, частично инвертный или виноградный сахар), который в большинстве случаев разбавляют небольшим количеством воды и тщательно перемешивают с поступающим пивом. В этом случае танки для брожения пива под давлением не должны иметь отражателей. Если сахарный сироп не полностью растворяется в пиве (например, в случае недостаточно гидролизованных крахмальных сахаров, см. разделы 2.1.2.4-2.1.2.5), то пиво необходимо еще раз отфильтровать.

8.4.6.6. Розлив и пастеризация. Для розлива не требуется специального оборудования. Для пива этого типа с высоким остаточным содержанием сбраживаемых сахаров желательна (практически обязательно) проводить пастеризацию в бутылках (в течение 20 мин при 70-75 °С). Обеспокоивающие фильтры и аппараты для кратковременной высокотемпературной обработки не обеспечивают достаточной безопасности.

8.4.7. Верховое «диетическое» пиво по баварской технологии

Этот тип пива характеризуется теми же свойствами, что и баварское диетическое пиво низового брожения, рассмотренное в разделе 7.10.2, но в нем содержится определенная доля пшеничного пивоваренного солода (светлого или темного), а также (иногда) жженный пшеничный солод и отсутствует сахар. Поскольку темные виды солода и высокое содержание несброженного экстракта, как правило, определяют характер вкуса,

то своеобразии верховых дрожжей практически не проявляется (как, например у «сладкого» пива). Верховые дрожжи здесь применяются лишь для соблюдения требований закона о налоге на пиво.

8.4.8. Безалкогольное пиво верхового брожения

Безалкогольное пиво верхового брожения может быть приготовлено как путем прерывания брожения, так и путем удаления спирта из пива типов *Alt*, *Koelsch* и пшеничного пива. Для приготовления безалкогольного пива как низового, так и верхового

брожения можно применять технологии, рассмотренные в разделе 7.10.3.

8.4.9. «Лёгкое» пиво верхового брожения

Такое пиво приготавливают с экстрактивностью начального суслу 7-7,5 % («лёгкое» пиво типа *Alt* или пшеничное пиво) или из 11-12 %-ного пива путем частичного удаления спирта. Для пива типа *Koelsch* согласно решению кельнского союза пивоваренных предприятий допустим только последний вариант. Приготовление такого типа пива ведется согласно разделу 7.10.7.

9. Высокоплотное пивоварение

Технология высокоплотного пивоварения была предложена в целях увеличения мощности варочного цеха — варят плотное сусло с более высокой экстрактивностью и разбавляют его водой до желаемой массовой доли сухих веществ, экономя тем самым энергию. При большей экономичности технологии степень использования сырья при этом хуже.

При высокоплотном пивоварении в зависимости от регламентирующих документов отдельных стран применяют:

- последующее разбавление плотного сусла перед брожением;
- последующее разбавление плотного сусла после брожения, как правило, перед фильтрованием.

Первый способ позволяет повысить мощность варочного цеха при условии поддержания одинакового количества варок в сутки. Экономия энергии присутствует всегда, так как из одинакового количества сусла производится в конечном итоге больше пива. Сбраживание более плотного сусла, как и созревание, не должно продолжаться дольше, чем обычно.

9.1. Получение высокоплотного сусла

9.1.1. Фильтрация

При высокоплотном пивоварении система фильтрации является своего рода лимитирующим фактором, так как процесс затирания зависит от концентрации первого сусла или отношения засыпи к главному наливу. Соотношение «засыпь/налив» для фильтр-чанов приведено в табл. 9.1. В современных хорошо сконструированных фильтр-чанах объем засыпи в определенных границах может быть превышен (концентрация начального сусла от 11,5 до 13 %, то есть на 14 %). Возможно даже увеличение засыпи на 28-30 %, то есть увеличение экстрактивности горячего охмеленного сусла до 14,5-14,8 %, при соблюдении следующих условий: оснащение разрыхлителя ножами достаточной длины для проникновения сквозь весь слой дробины, достаточное

их количество (не менее 2-2,5 ножей/м²) для преодоления сопротивления дробины (см. раздел 2.4.3.6), приспособление производительности отзоторивания, удаления дробины и бункера для нее к большому объему засыпи (для сокращения продолжительности простоев, см. раздел 2.4.3.13). Для лучшего выщелачивания фильтрационного слоя концентрацию первого сусла следует выбрать более высокой, что позволяет получить выигрыш во времени для выщелачивания дробины. Фильтрационный слой в конце фильтрования необходимо промыть. Фильтрование последней промывной воды требует дополнительного времени, причем повторное затирирование с использованием последней промывной воды неблагоприятно с точки зрения качества затора.

Традиционные фильтр-прессы не позволяют использовать удельную засыпь более 55-58 кг/м². В этом случае следует увеличить количество камер, причем для более крупных фильтров (начиная с засыпи 5-6 т) необходимо предусмотреть спуск затора с двух сторон.

Новые фильтр-прессы, например, *Meura 2001* или *Ziemann MK 15/20* благодаря отжиму дробины после первого сусла и последнего долива, хорошо подходят для получения высокоплотного сусла (15-16 %-ного).

9.1.2. Затирирование

Для получения более концентрированного первого сусла необходимо более густое затирирование, причем отношение массы засыпи и воды 1 : 3 (20 %-ное первое сусло) проблем не создает. При этом следует учитывать интенсивность перемешивания, а также продолжительность осахаривания. Из-за повышенной концентрации затора образование α -амилазы (единственной из гидролаз) несколько затруднено. На этот фермент также негативно воздействует повторное использование последней промывной воды. Более концентрированный затор и сусло стимулируют реакции Майяра при ведении затора и кипячении сусла. С другой стороны, вследствие коррекции значения

Таблица 9.1. Фильтрование с большим количеством засыпи (фильтр-чан диаметром 6,5 м и общей площадью 33 м²)

Концентрация горячего охмеленного сусла, %	11,5	13,0	14,5	16,0
Засыпь, т	6,0	6,85	7,73	8,67
Удельная засыпь, кг/м ²	181,8	207,6	234,2	262,8
Превышение, %	-	14,2	28,8	44,5
Параметры фильтрования:				
первое сусло, гл/%	165/17,5	165/19,0	175/20,5	192/20,5
промывная вода, гл	283	283	273	256
емкость чана, гл	448	448	448	448
горячее охмеленное сусло, гл	400	400	400	400
выход экстракта (горячего), %	77,0	76,7	76,3	75,5
последняя промывная вода, %	0,7	1,1	1,5	2,3

pH затора до 5,6 (не более, из-за α -амилазы) они могут быть замедлены. Ведение затирания без доступа воздуха уменьшает усиление окрашиваемости благодаря уже окислившимся полифенолам.

9.1.3. Кипячение сусла

Более интенсивное испарение в целях увеличения выхода сусла, то есть переработка большего количества последней промывной воды уже при 2 % ограничивается порогом рентабельности. Хорошо себя зарекомендовали новые системы кипячения сусла (с внутренним или внешним кипятильником) — они быстрее справляются с коагуляцией белка, чем суловарочные котлы с двойным днищем (в которых существуют проблемы с доведением остаточного содержания коагулируемого азота до уровня ниже 2-2,5 мг/100 мл 12 %-ного сусла). Кроме того, с учетом меньшей продолжительности кипячения при использовании внутренних и внешних кипятильников довольно трудно достичь желаемой степени изомеризации. Еще большие потери связаны с тем, что норма внесения дрожжей должна быть рассчитана на все количество пива, то есть на его количество после разбавления, и что в нем содержится больше коагулируемого азота. Чтобы не ухудшать растворение α -кислот и не замедлять расщепление предшественника ДМС, корректировку значения pH осуществляют лишь за 10 мин до окончания кипячения. Для стимулирования брожения концентрированного сусла значение pH должно составлять менее 5,0.

В странах, где разрешено добавление несоложенного сырья или сахара, приготовление более концентрированного сусла может быть существенно уп-

рощено путем добавления крахмальной патоки с заданным содержанием сбраживаемых сахаров или сахарного сиропа (примерно за 10 мин до окончания кипячения).

9.1.4. Применение вирпула

У высокоплотного сусла (более 14,5 %) седиментация осадка взвесей сусла может ухудшиться, что объясняется повышенной вязкостью сусла, более высоким содержанием взвесей и, как правило, большим количеством хмелевой дробины. Седиментацию можно ускорить с помощью колец Денка, однако хорошо себя зарекомендовало дозированное центрифугирование отстойного сусла (см. раздел 2.7.7.1), что делает излишним отведение осадка взвесей сусла для получения экстракта (такое отведение могло бы дополнительно ограничить возможности промывания пивной дробины).

9.1.5. Разбавление плотного сусла при его охлаждении

Холодную умягченную воду лучше всего добавлять в пластинчатый охладитель между зонами предварительного и окончательного охлаждения. В холодильных установках без разделения на зоны можно использовать отдельный параллельно подсоединенный пластинчатый охладитель. В этом случае содержание кислорода в воде не играет никакой роли, однако большее внимание следует уделять ее микробиологическим свойствам. Для учета добавляемой воды и общего количества сусла желательно применять автоматические измерительные устройства в сочетании с регулируемым денситометром.

9.2. Брожение высокоплотного сусла

Как известно, для получения большего количества экстракта требуется больше времени, а более масштабные превращения веществ обуславливают увеличение содержания побочных продуктов брожения, высших спиртов и сложных эфиров, непропорциональное увеличение содержания последних вызывается прежде всего ослаблением размножения дрожжей в более концентрированном сусле. Это объясняется различным потреблением ими ацетил-S-CoA, которое протекает или в направлении синтеза жиров (для размножения клеток), или в направлении образования сложных эфиров (см. раздел 3.2.6.2).

Повышенное содержание эфиров отмечается также и в восстановленном пиве с изменением его вкусового профиля, приобретающего эфирно-фруктовый привкус, который хотя и не считается неприятным, но от привычного вкуса отличается.

Для ускорения брожения и улучшения размножения дрожжей были опробованы разные мероприятия.

- Увеличение потребления дрожжами кислорода в соответствии с основным правилом — 1 мг O_2 /‰ начального сусла, что в некоторых странах (не в ФРГ) достигается обогащением воздуха кислородом. Там, где такое обогащение запрещено, выполняют фракционированное аэрирование: сначала проводят аэрирование дрожжей, смешанных с суслом в отношении 1 : 1, а затем интенсивное аэрирование сусла с помощью трубки Вентури и стационарного месильного органа. По возможности

применяют также танк для внесения дрожжей или флотационный танк, но опять-таки с интенсивной дополнительной аэрацией.

- Многократное внесение семенных дрожжей доливом при интенсивном аэрировании. В этом случае благоприятным является равномерное, а иногда и постепенно увеличивающееся дозирование дрожжей.
- Удаление повторно седиментированного осадка взвесей сусла после заполнения танка примерно через 8 ч с последующей продувкой в течение 30-60 мин воздуха в количестве, позволяющим осуществить перемешивание содержимого танка. Это необходимо для «перенаправления» дрожжей, находящихся в нижней части танка под статическим давлением, в верхние области, что будет способствовать их размножению.
- Повторное аэрирование через 36 ч.
- Глубокое подкисление горячего охмеленного сусла до достижения значения pH 4,9-5,0, вследствие чего улучшается ход брожения и размножения дрожжей с благоприятными последствиями на спектр образующихся побочных продуктов брожения. Эта мера при известных условиях может сделать излишним аэрирование через 48 ч.
- Максимальный быстрый сбор дрожжей. В этом случае их физиологическое состояние будет лучше, чем на следующий день. Независимо от флокирующей способности дрожжей их урожай желательно собрать с помощью центрифуги для молодого пива, пропустить через сито, промыть и после аэрирования (см. выше) как можно скорее снова их внести. При брожении с последующим дображиванием и созреванием дрожжи также необходимо

удалять как можно раньше, при этом дополнительным неблагоприятным фактором является повышенное содержание спирта в конусе (наряду с содержанием CO_2).

- Своевременное разведение свежих дрожжей (см. раздел 3.3.2.2). В случае 100%-ного солодового суслу для создания благоприятных условий для размножения дрожжей его можно разбавить на 11,5-12 %. Для суслу с применением несоложенного сырья положительным фактором для хорошего размножения дрожжей является повышенное содержание свободного а-аминого азота, в частности в стадии завитков со степенью сбраживания 30-40 %.

Описанные меры были апробированы на 14,5-15 %-ном сусле, и при нормальной продолжительности брожения и дображивания обеспечивается получение такого спектра побочных продуктов брожения, который после разбавления дает приемлемое по качеству пиво.

Если содержание экстрактивных веществ в начальном сусле по экономическим соображениям устанавливают более высоким, то иногда имеет смысл использовать дрожжи, дающие меньше побочных продуктов брожения. В некоторых странах для этого применяют различные соли (так называемые *Yeast Food*), повышающие способность дрожжей к сбраживанию.

Повышенные температуры брожения и созревания приводят к усиленному образованию побочных продуктов брожения. По имеющимся данным максимальная концентрация суслу при высокоплотном пивоварении составляет 14,5-15,0 %. Это значение при условии отказа от использования сиропов является по сути дела пределом возможностей варочного цеха (см. табл. 9.1).

9.3. Разбавление пива

Разбавление пива водой проводят обычно на участке между танком дображивания и фильтром. Используют полностью дегазированную (вакуумированием или путем продувки CO_2) воду, которую карбонизируют до требуемого содержания CO_2 . Для соблюдения точности дозирования (смешивания) требуется наличие на соответствующем оборудовании автоматических анализаторов непрерывного действия, определяющих концентрацию начального суслу, и дополнительные контрольно-измерительные приборы в сборнике для фильтрованного пива.

Вода для разбавления должна быть холодной (около 0°C) и безупречной по микробиологическим показателям, для чего ее необходимо охладить и пропустить через стерильный фильтр. Так как вода такого качества используется также для промывки трубопроводов и фильтров (в ходе намывки кизельгура), то есть применяется в начале и конце фильтрования, для регулирования концентрации начального суслу появляется возможность использовать первую и последнюю промывную воду (при этом необходимо учитывать содержание в кизельгуре железа и кальция).

9.4. Свойства пива

Вкус пива после разбавления (при условии использования 14,5-15 %-ного суслу) практически не отличается от вкуса партий пива, приготовленных из суслу с нормальной концентрации. Содержание высших спиртов и сложных эфиров варьирует в пределах допустимой погрешности. Цветность пива в современных варочных цехах также не изменяется, как

и стабильность вкуса. Стойкость пива после разбавления несколько улучшается, так как вещества, вызывающие коллоидное помутнение пива при сильном охлаждении, разбавляются. Разбавление негативно сказывается на качестве пены: при 15 %-ном разбавлении — относительно незначительно, при 28 %-ном — средне, а при разбавлении на 40 % — довольно существенно. Причиной этого, помимо собственно разбавления, являются изменения, происходящие с высокоплотным пивом при хранении. Для обычных сортов «лагерного пива» высокое содержание экстрактивных веществ в начальном сусле не сказывается на качестве до тех

пор, пока удастся поддерживать первоначальный состав пива, однако специфические сорта пива *Pilsener* с типичным хмелевым ароматом для этой технологии подходят меньше. В странах, где не действует немецкий закон о чистоте пивоварения, это особой проблемы не представляет, поскольку существует возможность дополнительного внесения изомеризованных хмелевых экстрактов, CO_2 -экстрактов хмелевых масел и даже хмелевых ароматизаторов. Тем не менее предприятия, выпускающие высококачественное пиво класса «премиум», стремятся придерживаться технологий, не сказывающихся негативно на качестве пива.

10. Дополнения по данным новейших исследований

10.1. К главе 1: Технология производства солода

10.1.1. К разделу 1.3.1. Поглощение воды зерном ячменя

В первые часы водного замачивания водопоглощение, помимо оболочек, происходит преимущественно вокруг щитка зародыша и в примыкающих к нему слоях. Другие части зерна поглощают воду значительно медленнее.

В первые 6 ч активность амилаз, рибонуклеаз и фосфатаз возрастает параллельно содержанию влаги, а затем вследствие недостатка кислорода вновь понижается — как в зародыше, так и в эндосперме. Во время воздушной паузы активность ферментов снова увеличивается. При степени замачивания 41 % содержание влаги в зародыше составляет 65-70 %. Во время воздушной паузы зародыш вследствие повышенного потребления воды

для образования тканей конкурирует с эндоспермом, из которого отводится часть уже впитавшейся воды. Эта циркуляция влаги прекращается, когда содержание влаги в эндосперме составит 36 %. Влага, накопившаяся в зерне после замачивания, поглощается в основном зародышевым листком. Если удалить эту водяную пленку, то прорастание сначала интенсифицируется, а затем рост снова ослабевает (это явление обусловлено в целом пониженной влажностью проращиваемого материала).

Ячмень, выросший и собранный в жарких сухих климатических условиях, характеризуется высокой жизнеспособностью зародыша: при водном замачивании он впитывает достаточное количество воды, но во время последующей воздушной паузы еще отбирает у эндосперма часть влаги, и таким образом в ходе всего процесса замачивания происходит угнетенное увлажнение эндосперма. В данном случае желательнее сократить воздушные паузы, что такой ячмень вполне может

выдержать благодаря своей пониженной водочувствительности. Ячмень, выросший во влажных климатических условиях, характеризуется более быстрым и равномерным распределением влаги в зерне; в этом случае уместными представляются более продолжительные воздушные паузы, которые не так негативно отражаются на увлажнении эндосперма. Таким образом, благодаря правильному проведению замачивания (см. раздел 1.3.6.2) учитывается структура мучнистого тела и физиологические свойства зародыша.

10.1.2. К разделу 1.4.1. Теория проращивания

Как и при расщеплении β -глюканов (см. раздел 1.4.1.1 «Действие ферментов», а также разделы 1.8.3.3, 1.8.3.9), ксилан-солюбилаза действует и при расщеплении пентозанов. Она способствует высвобождению высокомолекулярного арабоксила, который затем расщепляется ксиланазами и арабинозидазой. При этих процессах расщепления активна также ферулоил-эстераза, которая разрывает связи молекул арабоксила с феруловой кислотой.

Расщепление пентозанов при солодоращении еще изучено недостаточно; вероятно, на него влияют те же факторы, что и при расщеплении β -глюкана. При солодоращении пшеницы это очень важно, поскольку вязкость пшеничного солода определяется главным образом пентозанами.

Для оценки расщепления клеточной стенки ячменного солода такие общеизвестные методы, как оценка разности экстрактов солода грубого и тонкого помолов и вязкости конгрессного сусле считаются менее информативными, чем специальные исследования расщепления клеточной стенки с помощью калькофлера, в ходе которых оценивается растворение

«М» и однородность «Н». У хорошо растворенного солода величина «М» должна составлять не менее 85 %, а «Н» — не менее 70 %. Вполне достижимы и более высокие значения у однородного по сорту солодовенного ячменя (значения фриабилметра могут составлять более 90 %).

Полезную информацию дает также анализ содержания β -глюкана в конгрессном сусле (еще лучше — содержание β -глюкана в сусле с температурой 65 °С). Для подтверждения недостаточной однородности солода более надежно содержание β -глюкана, а не значения вязкости в этих двух видах сусле. При температуре затора 65 °С активируется только β -глюкан-солюбилаза, причем высвободившиеся крупные молекулы β -глюкана далее не расщепляются уже инактивированными эндо- β -глюканазами. Таким образом, у хорошо и равномерно растворенного солода содержание β -глюкана в конгрессном сусле составляет 140 мг/л, а в сусле с температурой 65 °С — 220 мг/л, тогда как у неомогенного солода его содержание колеблется от 230 до 420 мг/л. При обычных способах замачивания это вызывает проблемы с фильтрованием в варочном цехе и на участке фильтрования (см. также разделы 2.4.3.9 и 7.7).

Солод с очень хорошим цитолитическим растворением практически не дает ухудшения свойств пивной пены. Негативно сказаться на свойствах пены может перерастворение белковых веществ, например, слишком высокая степень растворения белка, сопровождающаяся очень высоким содержанием свободного α -аминного азота.

Так как новые сорта ячменя уже в течение многих лет характеризуются существенно большей растворимостью белков, что неблагоприятно сказывается на пенообразующих свойствах, в спецификациях

солода степень растворения белков часто ограничивают верхним пределом (обычно 40-41 %), но при этом не должны ухудшаться цитолитические признаки растворения. Хотя новые сорта ячменя характеризуются в своем большинстве очень хорошим цитолизом, он все же является лимитирующим фактором (например, при сокращении времени проращивания). Чтобы подавить растворимость белков и не ухудшить цитолиз, применяют повышенные температуры проращивания (например, 18 °С) при высокой влажности проращиваемого материала (44-45 %). В этом случае у ячменя с равномерной фазой проращивания можно рассчитывать на сокращение продолжительности проращивания с 6 до 5 сут. Повышенная температура проращивания, как правило, приводит к соответствующему увеличению потерь. Хорошим контрольным показателем равномерности растворения является также отношение аминного азота к общему азоту, которое должно составлять около 20-21 %. При теплом коротком ведении грядки оно снижается до 17-18,5 %, вследствие чего возникают проблемы при брожении и созревании.

10.1.3. К разделу 1.6. Сушка свежепросоженного солода

На состав ароматических веществ в готовом высушенном солоде (см. раздел 1.6.1.2.) влияют не только температуры сушки, но и предшествующие процессы при подсушивании (подвяливание) в зависимости от температурных режимов и продолжительности. С одной стороны, это объясняется образованием веществ-предшественников (прекурсоров), а с другой — временным ускорением и последующим

ослаблением действия ферментов. Так, следствием применения при подвяливания пониженных температур (35-50 °С) является не только повышенная экстрактивность, но и большее значение VZ 45 °С; при щадящей сушке тиобарбитуровое число (ТБЧ) ниже. Параллельно образуются альдегиды Штрекера и 2-фурфураль. Ускоренная сушка; например, при постоянной температуре подсушивания в 65 °С, способствует образованию большего количества красящих веществ и веществ с интенсивным вкусом. При повышенных температурах подсушивания не так интенсивно протекает процесс образования продуктов расщепления жиров, в частности, гексаналя, гептаналя и др. Наивысшие значения содержания этих веществ и одновременно самое низкое содержание альдегидов Штрекера достигается при очень продолжительном подсушивании (20 ч при 50 °С с 50 %-ной мощностью вентилятора), что находит применение в солодорастильно-сушильных ящиках. За это время образуются также максимальное количество ненасыщенных карбонильных соединений.

С повышением температуры подсушивания содержание альдегидов Штрекера, 2-фурфураля, некоторых фуранов и спиртов увеличивается экспоненциально; у веществ, образующихся в процессе метаболизма липидов, какого-то единого поведения не обнаруживается. С температуры подсушивания 85 °С начинает сокращаться содержание пентанала, октанала, *транс*, *транс*, 2,4-октадиенала, а также кетонов (2-пентанона, 2-гексанона, 2-гептанона и 2-деканона); при повышенных температурах подсушивания большинство других ароматических веществ-продуктов липидного обмена выводятся из солода, в том числе γ -нонлактон.

Диметилсульфид. При сушке при высоких температурах из свежепоросшего солода выводится больше S-метилметионина; наиболее низкое его содержание в сухом солоде достигается подсушиванием при пониженных начальных температурах. Кроме того, при повышенных температурах подсушивания из ДМС образуется больше малолетучего ДМСО, содержание которого даже при высоких температурах сушки продолжает возрастать. В любом солоде содержатся предшественники ДМС, свободный ДМС и ДМСО; в солоде, высушенном при более высокой температуре, содержится меньше предшественников ДМС, меньше ДМС, но больше ДМСО. При нормальной температуре сушки 80 °С в солоде содержится 11 мг/кг предшественников ДМС и 20 мг/кг ДМСО, а при сушке при температуре около 90 °С — более 6 мг/кг предшественников ДМС, но 30 мг/кг ДМСО. Если предшественники ДМС не метаболизируются пивоваренными дрожжами, то некоторые культуры дрожжей с помощью соответствующей редуктазы способны восстанавливать небольшое количество ДМСО в ДМС. Увеличение его содержания при брожении и созревании если и наблюдается, то всего на 5-10 мг/кг. Дикie дрожжи и некоторые виды бактерий содержат ДМСО-редуктазу и способны продуцировать значительное количество ДМС, что в результате делает пиво непригодным к употреблению.

Солод из новых сортов ячменя в процессе сушки иногда дает высокое содержание предшественников ДМС. Благодаря высоким температурам сушки их содержание иногда удастся снизить (см. выше), однако этот процесс сопровождается образованием красящих и ароматических веществ. С помощью диаграммы Аррениуса можно видеть, что при сушке

в течение 5,5 ч с температурой 84 °С можно добиться значения ТБЧ 13 и содержания предшественников ДМС около 7 мг/кг. Такие же значения достигаются через 3 ч в случае сушки при температуре 90 °С, так что для определенных значений содержания предшественников ДМС и ТБЧ можно рассчитать продолжительность и температуру сушки (их следует рассчитывать для каждой сушилки, так как здесь важны высота слоя солода, мощность вентилятора и температурный режим в отдельных слоях солода).

Способы подсушивания при высоких температурах или при высокой термической нагрузке отрицательно сказываются на качестве солода и пива. Этому недостатку можно противодействовать, используя плавное возрастание температуры в течение 12 ч с 50 до 70 °С (то есть на 1,7°С/ч).

Температуры сушки от 80 до 88 °С дают хорошее по качеству пиво. При повышении температуры сушки необходимо учитывать то, что формируется более интенсивный солодовый вкус пива. При этом, по всей видимости, компенсируется эффект повышенного содержания альдегидов Штрекера и низкого содержания продуктов расщепления жиров. Лишь начиная с температуры 88 °С повышение содержания альдегидов Штрекера негативно сказывается на качестве светлого солода.

10.1.4. К разделу 1.6.3. Влияние способов подсушивания и сушки на стабильность вкуса (см. также раздел 7.6.5.5)

Подсушивание при низких начальных температурах или очень длительное подсушивание (24 ч при 50 °С с наполовину

сниженной мощностью вентилятора) в растительно-сушильном ящике позволяет поддерживать минимальное содержание альдегидов Штрекера, однако содержание продуктов распада жиров при этом максимально. И наоборот, при ускоренных способах подсушивания с высокими начальными температурами содержание продуктов расщепления жиров ниже, а альдегидов Штрекера — выше. Наилучшие результаты достигаются при приготовлении тех сортов пива, которые производятся из солода, подсушиваемого в течение 12 ч при плавном повышении температуры с 50 до 70 °С. Следующим по качеству является пиво, приготовленное после подсушивания солода при пониженных температурах или подсушенного в растительно-сушильном ящике. Аналогичная картина наблюдается также при сравнении сушки солода в одно- и двухъярусных сушилках.

Повышение температуры сушки с 70 до 95 °С при одинаковом способе подсушивания вызывает экспоненциальное увеличение содержания альдегидов Штрекера и (пусть и не всегда равномерное) снижение содержания продуктов расщепления жиров. Учитывая более сильно выраженный солодовый аромат у солода, высушенного при повышенных температурах, пиво из солода, высушенного при температурах 80-88 °С, характеризуется стабильным вкусом. Существенное ухудшение вкуса пива наблюдается лишь у пива из солода, высушенного при еще более высоких температурах.

Темный («томленный») солод, при подсушивании которого выдерживалась пауза при температуре 65 °С в течение 2-3 ч, а затем он подвергался сушке 4-5 ч при 100-105 °С, также дает большое содержание альдегидов Штрекера и продуктов реакции Майяра, однако при созревании пива наблюдается незначительное

увеличение содержания продуктов их распада. Вкус как свежего, так и созревшего пива из такого солода оказывается лучше, что объясняется, вероятно, «маскирующим» эффектом ароматических веществ солода.

10.1.5. К разделу 1.6.8.

Складирование и хранение сухого солода

Правильное хранение темного солода, то есть его хранение без увеличения влажности, почти не вызывает изменения «традиционных» аналитических характеристик. Содержание летучих соединений (альдегидов, кетонов, высших спиртов, сложных эфиров, лактонов, фуранов, а также азотсодержащих гетероциклических соединений) остается неизменным в пределах допустимых отклонений в загрузках сушилки. Аналитические и вкусовые показатели суслу и пива из такого солода не меняются, а стабильность вкуса пива из выдержанного темного солода оказывается даже несколько лучше. Эти данные вступают в противоречие прежним данным, и можно предположить, что испытанные ранее партии темного солода имели повышенную влажность, вследствие чего их показатели после хранения менялись.

При хранении солода в течение 6 мес. при температуре 20 °С содержание гидроксикислот меняется незначительно, а содержание ди- и тригидроксикислот заметно возрастает. Тем не менее эти изменения не оказывают большого влияния на вкус пива.

10.1.6. К разделу 1.8.2.

Механический анализ

Рыхлость солода. Точно определить значения степени растворения (0 - < 5 %, 5 - < 25 %, 25 - < 50 %, 50 - < 75 %, 75 - < 95 %, 95 - < 100 %)

95 - 100 %) и рассчитать модификацию «М» можно автоматически с помощью показателей калькофлера (по методу Карлсберга), по которым оцениваются показатели растворения «М» и гомогенности «Н». Способ солодоращения больше влияет на показатель «М», чем на «Н», причем оба показателя зависят от сорта ячменя, климатических условий года сбора урожая и особенно от готовности зерна к проращиванию и отсутствия примесей. В смешанных партиях показатель гомогенности, как правило, на 15-20 % хуже, чем у чистосортного зерна, и чтобы по показателю «М» приблизиться к чистосортному сырью, необходимо определенное «перерастворение». Для показателя «Н» это невозможно. В сертификатах качеств в настоящее время указывают минимально допустимые значения («М» — 85 %, «П» — 75 %).

Помимо этого, применяют определение роста зародышевого листка. Распространенного суждения, что средняя длина зародышевого листка у светлых солодов 0,75, у темных - более 0,8 (по отношению к длине зерна) в настоящее время уже недостаточно. Так, например, для оценки равномерности прорастания проверяется распределение в партиях солода зародышевых листков по ИХ длине. Партии солода считаются гомогенными, если доля зерен размером от $\frac{1}{2}$ до $\frac{3}{4}$ и от $\frac{3}{4}$ до полной длины зерна составляет более 84 %. Более высокая доля зерен размером от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ свидетельствует о наличии прорастающих зерен и негомогенности партии, в которой могут присутствовать также зерна размером от 0 до $\frac{1}{2}$, а также проростки.

10.1.7. К разделу 1.8.3.

Технохимический анализ

Показателю разности экстрактов солода тонкого и грубого помолов, отражающему

цитолитическое растворение солода, свойственны погрешности, обусловленные методом затирания. Он представляет собой лишь усредненную характеристику цитолиза всех зерен, подвергнутых затиранию, и ничего не говорит о гомогенности солода и пригодности его к переработке (в связи с этим данный показатель исключен из последних рекомендаций МЕВАК).

Определение содержания β -глюкана в конгрессном сусле мало что дает, так как при тонком помоле и температуре затирания 45 °С (как и при очень жидком заторе) наблюдаются более низкие значения, не соответствующие в большинстве случаев производственным условиям. Содержание потенциального β -глюкана, растворимого β -глюкан-солнобилазой, можно представить по затору с температурой 65 °С — например, у хорошего гомогенного солода содержание β -глюкана в конгрессном сусле составляет 140 мг/л, в сусле с температурой 65 °С — 220 мг/л, а в сусле, полученном по ускоренному способу затирания, — 230 или даже 420 мг/л. В последнем случае возникают проблемы при фильтровании и осветлении. С учетом этого указываемый в контрактах верхний предел в 350 мг/л не стоит считать «панацеей».

Сусло с температурой 65 °С отличается также более высокой вязкостью по сравнению с конгрессным, однако разница в 0,05-0,10 мПа · с у солода обычной спецификации не является достаточно надежной. Если определить содержание собственно β -глюкана невозможно, необходимо провести исследования вязкости в той же лаборатории.

Представление о степени расщепления крахмала в конгрессном заторе дает йодное число, но поскольку действие обеих амилаз на зерна крахмала зависит от степени растворения солода, то йодное

число солода соответственно тонкого и грубого помолов характеризует степень и равномерность растворения. У хорошо растворенного солода тонкого помола оно составляет около 1,8-2,5, у солода грубого помола — порядка 6-8,9, в средней зоне — около 2,6-4,0 или 9,0-14,5 соответственно, а при плохом растворении — около 4,1-4,8 или 14,6-17,5.

10.1.8. К разделу 1.9.1.

Пшеничный солод

В пшенице содержится намного меньше β -глюканов (0,5-2 %), чем в ячмене (3-7 %). С другой стороны, содержание пентозанов (2-3 %) в ней заметно выше, чем в ячмене, причем растворимость пентозанов пшеницы примерно на 1-1,5 % больше, чем пентозанов ячменя (0,7 %). Высокая вязкость суслу из пшеничного солода определяется гемицеллюлозами пшеницы, при этом определенную роль играют продукты расщепления пентозанов. Зачастую трудно достижимая йодная окрашиваемость затора или суслу из пшеничного солода обусловлена неполным расщеплением основных веществ, в связи с чем солодоращение следует вести особо тщательно.

В настоящее время основная проблема заключается в отсутствии специальных сортов «пивоваренной пшеницы», и в солодоращении приходится использовать те ее сорта, которые могут давать продукт, пригодный для солодоращения и пивоварения, лишь в определенных условиях.

Так, например, оказались целесообразными средняя влажность (около 44 %, см. раздел 1.9.1.2) и более низкие температуры проращивания (в среднем 14-15 °С) при общей продолжительности замачивания и проращивания 7 сут. Для

«нормально растворимых» сортов пшеницы возможно солодоращение как при возрастающих (от 12 до 18 °С), так и при убывающих (от 16-18 до 12-13 °С) температурах. Для сортов пшеницы, дающих повышенную вязкость, требуется более высокая влажность (до 47 %) и применение при солодоращении убывающих температур (с 19 до 15 °С), однако при этом следует учитывать, что растворение белков и, соответственно, содержание растворимого азота не должно быть слишком высоким (не выше 38-39 %), иначе ухудшаются не только пенообразующие свойства, но и вкус пива.

Важно также, чтобы оборудование для солодоращения позволяло соблюдать необходимые параметры, в частности, при замачивании — регулирование температуры, хорошую аэрацию при «мокром» замачивании и эффективное отведение CO_2 , а при проращивании — поддержание требуемой влажности проращиваемого материала, соблюдение заданных температур, а также достаточную продолжительность проращивания.

При анализе пшеничного солода (см. раздел 1.9.1.4) определенную роль играет визуальная оценка, которую проводят по тем же критериям, что и в случае ячменя и ячменного солода — в первую очередь это касается отклонений зерна. Проблемными являются зерна, изменившие цвет в результате развития плесневых грибов — например «красные зерна», вызывающие чрезмерное пенообразование (гашинг-эффект, см. также раздел 7.6.7).

Определение склонности пшеницы или пшеничного солода к возникновению гашинг-эффекта выполняют с помощью карбонизированной вытяжки, которую через 4-5 сут подвергают испытанию на гашинг-эффект. В бутылке объемом 0,5 л перелив пены в объеме 1-10 мл свидетельствует

о стабильности пива, в объеме 11-30 мл — об относительно стабильном («лабильном») пиве, а в объеме более 30 мл — о пиве, подверженном гашинг-эффекту. Следует учитывать также, что содержание оксалатов в пшенице примерно на 50 % выше, чем в ячмене.

В дополнение к данным раздела 1.9.1.4 можно добавить, что содержание белка в пшенице в основном рассчитывают путем умножения содержания азота на коэффициент 5,7 (вместо коэффициента 6,25 для ячменя или ячменного солода). Постоянное расхождение этих «коэффициентов» следует предупреждать ссылкой на содержание азота в пшенице или пшеничном солоде, так как обычно речь идет о растворимом азоте, азотсодержащих фракциях и свободном α -аминном азоте.

Диастатическая сила пшеничного солода варьирует от 250 до более 400 °WK, а активность α -амилазы, как правило, ниже, чем у ячменного солода. В зависимости от сорта пшеницы, климатических условий ее возделывания и года сбора урожая, а также способа солодоращения она составляет 40-60 ед. ASBC. В неблагоприятные годы активность α -амилазы ниже 30 ед. ASBC может приводить к замедленному осахариванию, а также к неадекватному йодному окрашиванию сусла. Йодная реакция лабораторной, а также производственной дробины существенно сильнее, чем в случае использования ячменного солода.

10.1.9. К разделу 1.9.2. Солод из других зерновых культур

Тритикале — гибрид пшеницы и ржи — представляет интерес особенно для приготовления пива верхового брожения, однако в этом случае содержание азота

в тритикале должно быть менее 2 % (потери азота при солодоращении составляют 0,10-0,13 %). Переработка тритикале осуществляется аналогично пшенице, избегая чрезмерного растворения белков. Цитолитическое растворение сталкивается с теми же проблемами, что и у ржи и пшеницы. Обычно применяют замачивание с воздушными паузами до влажности 37-38 %, максимальную влажность при прорастании 45 %, а также проращивание при убывающих температурах (с 16 до 12 °C) с общей продолжительностью замачивания и проращивания 7 сут. В некоторых условиях температуру проращивания в последний день можно снова повысить до 18-20 °C, несколько снизив вязкость.

При очень высоких значениях экстрактивности (86-87 %) разность экстрактов солода тонкого и грубого помолов на 1,3-1,6 %, а вязкость на 1,8-2,2 мПа · с выше, чем у пшеничного солода, но намного лучше, чем у ржаного солода. Степень растворения белков варьирует от 45 до 55 %, а значение VZ 45 заметно ниже (38-44 %). Диастатическая сила составляет 400-500 °WK, активность α -амилазы — 100-120 ед. ASBC. Конечная степень сбраживания составляет около 75 %, то есть относительно невелика (она колеблется в зависимости от года сбора урожая). Цветность солода из тритикале составляет при нормальной сушке (80 °C) около 7-9 ед. EBC.

10.1.10. К разделу 1.9.3. Специальные типы солода

Из жжёного и карамельного солода производят экстракты в жидкой и твердой форме, включая препараты распылительной сушки и гранулированные, а также

так называемое «красящее пиво», используемое в качестве красящего компонента.

Процесс начинается с получения карамельного или жженого солода с удаленной цветочной оболочкой, который затем подвергается тонкому измельчению и гранулированию. Гранулирование снижает гигроскопичность солодового порошка, который не пылит и не спекается. Его можно добавлять в сусловарочный котел, причем препарат быстро растворяется. В зависимости от назначения предлагаются препараты с цветностью 30, 100, 300 и 1000 ед. ЕВС.

Для получения сусла, как правило, требуется майш-фильтр (фильтр-пресс), позволяющий получать высокоплотное сусло. Для стерилизации этого солодового экстракта используют кратковременную высокотемпературную обработку, а затем после испарения под вакуумом получают экстракт, который можно добавлять в сусло в конце кипячения или на стадии горячего охмеленного сусла.

Этот экстракт аналогично «красящему пиву» можно вводить перед фильтром для корректировки цветности, полноты вкуса и характера пива. Перед использованием солодового экстракта необходимо удостовериться, что его применение не запрещено нормативными актами.

10.2. К главе 2.

Технология приготовления сусла

10.2.1. К разделу 2.1.3. Вода

Что касается *прочих методов водоподготовки* (см. раздел 2.1.3.10), то для намывки вспомогательных фильтрующих материалов, предварительного заполнения

трубопроводов или агрегатов, а также для разбавления пива при высокоплотном пивоварении требуется вода, не содержащая воздуха или кислорода.

Деаэрация воды может осуществляться при нормальном, избыточном давлении или при разрежении (в вакууме).

Установка, работающая при нормальном давлении, состоит из колонны, заполненной специальным наполнителем с большой площадью поверхности. Воду подводят сверху через распределитель, а CO_2 направляют снизу (противоток), благодаря чему происходит снижение содержания в воде кислорода при незначительном расходе газа (при этом преобладающая часть продуваемого CO_2 растворяется в воде).

Затем воду охлаждают в пластинчатом теплообменнике до нужной температуры. Для подобной стерилизации воды перед пластинчатым теплообменником располагают отдельный нагреватель, позволяющий рекуперировать для нагрева воды почти 95 % теплоты. Имеется также возможность деаэрировать нагретую воду и использовать ее в качестве своего рода «аккумулятора теплоты».

Производительность существующих установок доходит до 1000 гл/ч. Остаточное содержание кислорода, измеряемое с помощью встроенного в трубопровод газоанализатора, составляет в зависимости от технологических параметров от 0,01 до 0,05 мг/л. Целесообразно применять такие установки вместе с аппаратом карбонизации.

При деаэрации под давлением в воду добавляют CO_2 под высоким давлением (с помощью форсунок в деаэрационной ёмкости). При этом парциальное давление CO_2 превышает парциальное давление кислорода и азота, благодаря чему они вытесняются из воды, которая насыщается CO_2 .

Вакуумная деаэрация основана на том, что деаэрируемая вода подвергается действию разрежения. Вода распыляется с помощью форсунок в деаэрационной ёмкости, и благодаря вакууму и большой поверхности из воды удаляются кислород и азот. Для достижения максимальной степени деаэрации два вакуумных каскада подключают последовательно.

При использовании методов холодной деаэрации после системы подключают стерилизующий или обеспложивающий фильтры, предотвращая поглощение кислорода деаэрированной водой (целесообразно организовать текущий контроль содержания кислорода). В зависимости от объемов использования деаэрированной воды при разбавлении высокоплотного сусла до 25 % необходимое содержание кислорода в воде для разбавления составляет менее 0,01 мг/кг.

10.2.2. К разделу 2.1.4. Хмель

Из ароматических сортов хмеля широкое распространение получили сорта *Select* и *Tradition* в отличие от сорта *Pure*. Новым сортом является также *Saphir*, в котором содержится 3,5-5 % α -кислот, 6,5-8 % β -кислот, а также около 12 % когумулона. Спектр хмелевых масел соответствует сортам из области Халлертау.

Из горьких сортов хмеля следует отметить сорта *Taurus* (14-17 % α -кислот) и *Merkur* (12-15 % α -кислот). У этих сортов с высоким содержанием α -кислот (как и у сорта *Magnum*) содержание β -кислот составляет примерно 6-8 %, а содержание когумулона удалось снизить для сорта *Taurus* до 22 %, а для сорта *Merkur* — до 19 %. Что касается содержания хмелевых масел, то в них отмечается повышенная доля мирцена, что характерно для

классических сортов горького хмеля *Brewers Gold* и *Northern Brewer*.

Все новые сорта, начиная с *Perle*, менее восприимчивы к болезням и поражению вредителями, чем традиционные, причем в период роста им требуется меньшее количество обработок средствами защиты растений. Благодаря различным агротехническим мероприятиям в них выявляются лишь следы серосодержащих соединений, которые без труда удаляются в процессе приготовления сусла.

Для получения подчеркнутого хмелевого аромата в готовом пиве не менее 25 % нормы внесения хмеля (α -кислоты) следует дозировать в виде гранул ароматического хмеля. Оптимальным моментом для внесения является окончание кипячения сусла, когда отсутствует испарение. Хмель можно также вносить в вирпул, но при этом следует следить, чтобы это не оказало негативного воздействия на содержание осадка взвесей сусла. Если при перекачивании сусло охлаждают (см. раздел 2.5.7.1), то наилучший результат с точки зрения вкуса и аромата получается при температуре 70 °С. Хорошие органолептические показатели достигаются и при температурах 80-90 °С. Примечательно, что такое позднее внесение хмеля улучшает стабильность вкуса пива, что объясняется «маскирующим» действием хмелевого аромата на оттенки старения.

При подобном способе внесения хмеля (очень позднем или при более низкой температуре сусла в вирпуле) в пиво попадает также больше неизомеризованных α -кислот. Такое содержание α -кислот (около 2,5-3 мг/л) не ухудшает горечь пива, улучшает плотность пены и сопротивляемость пива действию микроорганизмов, вызывающим его порчу.

Ксантогумулон (ксантогумол) представляет собой пренилфлаванонид, относящийся к полифенолам. Согласно новейшим исследованиям, он обладает антиканцерогенными свойствами. Ксантогумулон плохо растворяется в воде и при кипячении суслу переходит в изоксантогумулон, антиканцерогенные свойства которого несколько ниже. В свежем хмеле и в правильно обработанных гранулах содержание ксантогумулона составляет 0,3-1 %, причем в горьких сортах хмеля оно выше, чем в ароматических. Поскольку для ароматического хмеля из-за пониженного содержания в нем α -кислот требуется более высокая дозировка, чем для горького, не говоря уже о сортах с повышенным содержанием α -кислот, то в итоге при внесении в сусло или пиво ароматического хмеля попадает больше ксантогумулona. Например, для сорта *Hallertauer Hersbrucker* соотношение « α -кислоты : ксантогумулон» составляет 8, а для сорта *Hallertauer Magnum* — 19, и, следовательно, соотношение суммы α - и β -кислот к ксантогумолу в этих сортах составляет соответственно 18 и 30.

Естественно, выход ксантогумулona при приготовлении пива невелик. Так, например, при дозировке 5 мг/л в сусле остается всего 0,4 мг ксантогумулona и 1,6 мг/л изоксантогумулona, причем их содержание продолжает снижаться при брожении и дображивании (перед фильтрованием) до 0,1 или 0,8 мг/л, после фильтрования — 0,05 или 0,75 мг/л соответственно. Обработка ПВПП дополнительно снижает их содержание примерно на треть, и, таким образом, выход составляет лишь 10 %.

Экстракт, богатый ксантогумулоном, получают из гранул дробины, полученных с помощью CO_2 -экстракции и повторной экстракции этанолом. При этом

наряду с ксантогумулоном растворяются твердые и остаточные мягкие смолы. Подобный экстракт придает пиву некоторую горечь (например, 23 ед. ЕВС), но содержание изо- α -кислот составляет менее 10 мг/л, в связи с чем горечь пива хоть и ощущается, но является очень мягкой. Тем не менее в ходе применения таких специфических экстрактов, содержащих до 5 % ксантогумулona, требуется «щадящий» режим: высокоплотное пивоварение, разбавление пива при фильтровании, кипячение (классическое) не более 1 ч, внесение хмеля за 5 мин до конца кипячения, интенсивное охлаждение суслу до 80 °С при помощи охладителя или холодной пивоваренной водой, пониженная норма внесения дрожжей при многократном их ведении в том же субстрате (то есть насыщение дрожжей ксанто- или изоксантогумулоном), щадящее фильтрование пива, отказ от применения ПВПП для стабилизации, кратковременная температурная обработка и т. д. Для пшеничного дрожжевого пива фильтрование или стабилизация не требуются. Подобные экстракты хорошо подходят для приготовления специальных сортов пива, но содержание горьких веществ в них меньше, чем у светлого лагерного пива или пива типа *Pilsener*.

Содержание полифенолов в хмеле зависит от сорта, области возделывания и года сбора урожая, причем в горьких сортах хмеля их содержится меньше, чем в ароматических сортах. В ароматических сортах наибольшее содержание полифенолов отмечается у сорта *Saazer*, за ним следуют *Tettnanger* и *Selekt*, что касается сортов хмеля с повышенным содержанием α -кислот, то у сорта *Taurus* содержание дубильных веществ больше, чем у сорта *Magnum*. Это относится не только к флавонолам, но и к процианидинам и флавоно-

идам, в том числе к кумаровой и оксибензойной кислотам. Большую роль играет и область возделывания хмеля: так, например, в сортах *Perle* и *Nugget*, если они выращены в области Халлертау, содержатся на 17 и 27 % больше полифенолов, чем в тех же сортах хмеля, выращенных в США. Такая же ситуация наблюдается и для ксантогумулона.

10.2.3. К разделу 2.2.2. Солодовые дробилки

При *мокром дроблении* (см. раздел 2.2.2.7) производительность современных дробилок с диаметром валцов 500 мм достигает 40 т/ч, что для суловарочных отделений с засыпью 10 т позволяет сократить продолжительность дробления примерно до 15 мин. С учетом действия оксидантных систем (в первую очередь липоксигеназ) стремятся соблюдать короткую продолжительность затирания и поздние паузы. Для этого дробилку просто заполняют нейтральным газом (N_2 , CO_2). Работе с незначительным количеством кислорода способствует подача затора в заторную емкость снизу. Следует учитывать, что пик энергопотребления дробилки при сокращенной продолжительности дробления заметно возрастает — для помола 10 т продукта за 15 мин требуется до 100 кВт электроэнергии.

Для получения *порошкового помола* (см. раздел 2.2.2.8) разработаны специальные дробилки, минимизирующие захват кислорода при получении порошкового помола и исключающие необходимость дорогостоящих мероприятий по созданию атмосферы инертного газа. Эти дробилки мокрого помола представляют собой дисковые дробилки, диск которых вращается со скоростью 1275 об/мин (окружная скорость — 40 м/с). Распределение солода

обеспечивается парой неподвижных молотков. Солод измельчается рядом бил с постепенно уменьшающимися зубьями, расположенными в трех зонах. Расстояние между дисками составляет обычно 0,35 мм, а энергопотребление дробилки производительностью 15,5 т/ч — 97 кВт (6,25 кВт/т солода).

Через дозирующий шлюз в колонне с постоянным уровнем воды солод увлажняется и направляется через дозирующий барабан регулированием оборотов в дробилку, куда добавляют остаток замочной воды. При этом создается избыточное давление (с помощью CO_2 или азота) для предотвращения поглощения кислорода. Измельченный солод направляется в буферную емкость, а из нее — в заторный чан.

Производительность дробилки определяется продолжительностью затирания. Если желательна продолжительность затирания 20 мин, то требуется дробилка с производительностью, равной трем засыпям в час.

Такая дробилка в сочетании с применением современных фильтр-прессов позволяет получить суело с незначительной повышенной долей твердых частиц, которую при необходимости можно уменьшить путем спуска взвесей отстоявшегося суела (в течение 2 мин), но, как правило, этого не требуется.

10.2.4. К разделу 2.3.1. Теория затирания

Расщепление крахмала (см. раздел 2.3.1.1). Мальтаза, расщепляющая мальтозу на две молекулы глюкозы, при оптимальных температуре (35–45 °С) и значении рН затора оказывает лишь незначительное действие, так как крахмал еще не клейстеризован и не разжижен, в связи с чем

содержание мальтозы, зависящее исключительно от типа солода, невелико. Из этой «изначально существующей» мальтозы при указанных низких температурах выделяется небольшое количество глюкозы. Так, например, доля глюкозы в нормальном заторе составляет лишь около 10 % содержания мальтозы. Если же содержание глюкозы в заторе или сусле необходимо повысить (что бывает желательным в расчете на образование при брожении сложных эфиров, см. раздел 3.2.6.2), то мальтаза должна иметь возможность воздействовать на осахаренный затор.

Технически это реализуется так, что 80 % солода затирают, например, при 50 °С, чтобы он осахарился после пауз при температуре 62 и 70 °С, а 20 % солода затирают холодным способом, то есть при температуре 12-15 °С. Благодаря добавлению холодной воды к осахаренному затору и за счет смешивания с «холодной» составляющей затора позднее достигается температура 45 °С, которую поддерживают до тех пор, пока не будет достигнуто желаемое содержание глюкозы (20-40 %). В заключение путем обычных пауз при температуре осахаривания затор нагревают до температуры окончания затиранья.

Расщепление гемицеллюлоз и гумми-веществ (см. раздел 2.3.1.3). Пентозаны состоят не только из ксилозы и арабинозы — в них содержится также феруловая кислота, соединяющаяся с арабинозой одной эфирной связью. В результате возникают поперечные связи («сшивка») арабиноксилановых цепочек через две молекулы феруловой кислоты, а между пентозанами и протеинами — через аминокислоту тирозин. Как и при расщеплении β -глюкана, наряду с эндо- и экзоглюканазами активна также β -глюкан-солюбилиза, а при расщеплении пентозанов —

пентозан-солюбилиза. Ферулоил-эстераза разрывает эфирные связи между феруловой кислотой и арабинозой. Такое расщепление осуществляется при температурах от 35 до 47 °С, причем наиболее сильно при 44 °С и значении pH 5,7. Впоследствии это оказывается важным для характера пшеничного пива (см. раздел 8.4.3.4). По-видимому, расщепление пентозанов происходит примерно в том же температурном диапазоне, что и расщепление β -глюканов, что проявляется в вязкости сусла из пшеничного солода. В этом случае причиной существенно более высокой вязкости является не содержание β -глюкана, а пентозанов.

Расщепление липидов (см. раздел 2.3.1.5). При затираньи липиды, представленные в основном триглицеридами, расщепляются липазами на глицерин и свободные жирные кислоты. Из жирных кислот с несколькими ненасыщенными связями 50-70 % приходится на линолевую кислоту. В результате самоокисления или под действием липоксигеназ (-1 и -2) они переводятся в (SS)(13S)-пероксид жирных кислот. Наряду с этим в процессе самоокисления и под действием липоксигеназы-2 липиды могут непосредственно окисляться в гидропероксиды липидов, которые затем расщепляются липазами на (13S)-пероксид. Происходит также образование моно-, ди- и тригидроксилированных жирных кислот, которые действуют как предшественники целого ряда карбонильных соединений, играющих определенную роль в старении пива (см. раздел 7.6.4.2). Они вызывают также рост содержания веществ-индикаторов — гептанола, нонадекановой кислоты и γ -ноналактона, однако никакой связи между активностью липоксигеназ и концентрацией гидропероксидов выявить не удалось. Это свидетельствует

о наличии дополнительной ферментной системы, которая через 4 мин затириания при температуре 75 °С инактивируется примерно на 50 %. При этом, по-видимому, речь идет о пероксигеназах в определенной степени чувствительных к низким значениям pH (оптимальное значение pH - 7,0).

Содержание липоксигеназ в солоде зависит от сорта ячменя и области его выращивания. В ходе хранения солода оно снижается, но содержание продуктов окисления возрастает. Действие липоксидаз и окисление липидов при приготовлении сусла снижают следующими мерами: путем дробления солода в среде инертного газа (азота, CO₂), благодаря низким температурам при дроблении, а также, по возможности, за счет непродолжительного хранения помолла. При этом при порошковом помолле неблагоприятный эффект оказывает как высокая температура, так и увеличение площади поверхности частиц солода. Так как в зародышевом листке содержится достаточное количество жирных кислот и липоксидаз, то его тонкое измельчение (как и в обычных дробилках для сухого помолла) невыгодно. Более предпочтителен мокрый помол, так как зародышевый листок в этом случае меньше подвергается дроблению.

В ходе затириания действие липоксигеназ проявляется наиболее сильно, в связи с чем температура затириания (насколько это позволяют желаемый тип пива и качество солода) должна составлять около 62 °С и даже выше. Кроме того, благоприятно низкое значение pH 5,2 — в этом случае несколько ингибируется действие α-амилазы. И наконец, положительными факторами являются начало затириания без доступа воздуха и низкое поглощение кислорода в ходе затириания

(см. раздел 2.3.1.8), что достигается правильным регулированием месильных органов. Последнее поддерживают применением деаэрированной пивоваренной воды. При мокром дроблении определенное ингибирующее действие на липоксигеназы оказывает увлажнение солода при 80 °С.

Применение высоких температур затириания оправдывается тем, что в заторе, приготовленном без доступа воздуха, процессы расщепления (в первую очередь протеолиз) протекают интенсивнее и можно противодействовать возможному ухудшению пенообразующей способности пива (см. также разделы 7.5 и 7.6.5.5).

10.2.5. К разделу 2.3.3.

Способы затириания

Настойные (инфузионные) способы затириания (см. раздел 2.3.3.6) все больше вытесняют декокционные (отварочные) способы, поскольку их легче автоматизировать и можно сократить продолжительность затириания. Если раньше узким местом повышения суточной производительности по числу варок являлся фильтр-чан, то в настоящее время при работе по 12—14 ч в сутки таким слабым местом становится затириание. Это больше к специальным видам пива с высокой долей темного и специального солода, а также к пшеничному пиву, чем к светлому пиву типа *Pilsener*.

Решающее значение при настойных способах затириания имеют следующие факторы.

- При наличии двух идентичных комбинированных заторных чанов каждый из них должен быть пригоден для проведения начала и окончания затириания, что дополнительно увеличивает

общую продолжительность затирания на 15-20 мин.

- Начало затирания должно занимать, как правило, 15 мин (не более 20 мин). При мокром дроблении, а также при мокром помоле с помощью молотковых дробилок для оценки производительности следует учитывать продолжительность начала затирания, в ходе которого повышается однородность процессов расщепления. При затирании солода сухого помола необходимо следить за его быстрым смешиванием с водой или содержимым заторного чана — в противном случае существует риск, что образующиеся комки в процессе затирания не растворятся, и в фильтр попадут нерасщепленные группы веществ. Для проверки степени растворения применяют йодную пробу. Для солода сухого помола (особенно порошкового) требуется заторный шнек или отдельная емкость с эффективно работающим месильным органом, благодаря чему «затор» внесится в комбинированный заторный чан аналогично системам мокрого дробления.
- Месильный орган должен обеспечить однородность затора. При постепенном нагревании (1 °С/мин) должно быстро установиться температурное равновесие, что можно проверить по показаниям термометра в разных слоях затора. В настоящее время обычно применяют месильные органы с регулируемой скоростью вращения, которые могут увеличивать или снижать скорость вращения в начале и конце затирания, предотвращая эффекты сдвига или захват воздуха. Во время пауз число оборотов уменьшают, но при этом необходимо следить, чтобы перемешивание продолжалось, обеспечивая

необходимый контакт «фермент-субстрат».

- При слишком интенсивном перемешивании следует опасаться не столько эффекта сдвига, сколько образования мелких фракций, затрудняющих фильтрацию и препятствующих осветлению пива (помутнение). Естественно, полностью исключить их появление невозможно, и некоторые из них присутствуют даже в готовом пиве.
- При пониженном испарении при кипячении суслу и прежде всего в ходе приготовления высокоплотного суслу значительно снижается количество промывных вод. По этой причине даже для приготовления пива типа *Pilsener* применяют более плотное (18-19 %) первое сусло, а в случае использования фильтр-прессов (майш-фильтров) — даже первое сусло с экстрактивностью 22-24 %. Так как при этом количество последней промывной воды уменьшается лишь до 1-1,5 %, это не влечет за собой снижения качества (см. раздел 2.3.2.2). При конструировании месильных органов следует учитывать возможность переработки таких более концентрированных заторов. В таком случае возникает вопрос, нельзя ли при температурах затирания ниже 60-62 °С затирать еще гуще и, используя имеющуюся горячую воду, добавлять ее до достижения температуры затора 62-65 °С.

10.2.6. К разделам 2.4.2.

Фильтр-чан и 2.4.3. Процесс фильтрации в фильтр-чане

Производительность фильтр-чанов можно довести до 12 варок/сут в случае применения меньшей засыпи (при конди-

ционированном сухом помоле — около 155 кг/м^2 , а при мокром кондиционировании — 170 кг/м^2), использования модернизированного многосекционного подрезывающего рыхлителя и благодаря автоматизации фильтрования с применением системы *Fuzzy Logic* или нейронных сетей. Это соответствует чистому времени фильтрования около 90 мин. При этом в качестве управляющих величин используют или расход, или изменение сопротивления дробины, определяющие высоту и окружную скорость реза для оптимизации расхода и вымывания дробины.

Последние разработки направлены на обеспечение этих результатов и при менее благоприятных условиях. При этом необходимо не только оптимизировать промывание дробины и количество воды для ее промывания (из-за пониженного испарения при кипячении сусла — 4-5 % вместо прежних 7-10 %), но и использовать высокоплотное сусло (см. раздел 9.1).

Усовершенствования касаются прежде всего формы съемных днищ, которые в одной из конструкций имеют наклонные шлицы, увеличения количества выпускных отверстий (с 1 до 1,2-1,3/м²), точек присоединения к фильтрационным трубам конической формы, подачи промывной воды несколько выше зеркала сусла, отвода и возврата отстойного сусла через ту же систему или сбоку над уровнем сусла. Это же относится и к возможной промывке хмелевой лепешки.

Поскольку внутренняя зона фильтрационного слоя ведет себя при промывании иначе, чем внешняя, были разработаны кольцеобразные конструкции фильтрационной поверхности. Центральная зона предназначена для установки системы распределения затора, с помощью которой он поступает в чан горизонтально на

уровне съемного днища. Здесь же размещается приводной вал, и тем самым исключается контакт с суслом. Свободная площадь в центре у небольших чанов (фильтрующая поверхность 10-15 м²) составляет около 3 м², а у чанов большего размера диаметр свободного пространства, естественно, больше, так как этого требуют диаметр колен более крупных трубопроводов. Вместе с тем для сохранения равномерности разрыхления и промывания фильтрационного слоя подерживается одинаковое соотношение внутренней зоны к общей площади фильтрачана. На 1 м² приходится около 2 зон фильтрования, а диаметр фильтрационных труб несколько больше (50 мм вместо 35 мм), что позволяет, несмотря на высокую пропускную способность, снизить скорость стока в зонах фильтрования. Все фильтрационные трубы, соединяющиеся с центральным коллектором, имеют одинаковую длину и форму, что обеспечивает равные условия протекания. Таким образом, в каждой фильтрующей области соблюдаются одинаковые условия. У рыхлителя зигзагообразные ножи оснащены дополнительными ножами, направленными вверх под наклоном. Выгрузка дробины в чанах небольшого размера осуществляется изогнутыми в форме колена лопатками, которые при выгрузке дробины устанавливаются поперек и обеспечивают быструю ее выгрузку.

Принцип действия: на покрытое водой съемное днище затор загружают от центра по 4-6 трубам на уровне съемного дна. При этом статического давления затора в заторном чане достаточно, чтобы в начале проводить отзоторивание без использования насоса, самотеком, то есть в щадящем режиме и, по возможности, без доступа воздуха. Насос с автоматически увеличивающимся числом оборотов

подключается лишь в ходе отзоторивания. Фильтрация и осветление с помощью системы *Trend* регулируется автоматически в зависимости от заданной скорости фильтрации. Если заданная в данный момент скорость незначительно понижается, то для обеспечения расхода рыхлитель производит более глубокий рез. Обычно первое сусло, как и промывные воды, стекает без выполнения глубокого реза. Чтобы при высоких скоростях фильтрации добиться возможно лучшего выщелачивания дробины промывными водами, рыхлитель должен обеспечить по возможности хороший контакт дробины с промывной водой. Это, как правило, удается, что видно по быстрому снижению экстрактивности, благодаря чему достигается очень низкий расход последней промывной воды. Количество промывных вод удается снизить настолько, что варки с высокоплотным начальным суслом можно проводить без ощутимых потерь. Таким образом, фильтр-чан становится вполне сопоставимым с фильтр-прессом. Малое время простоя и очень быстрое фильтрация (в среднем $0,25 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$) позволяют добиться производительности до 14 варок/сут. Удельная засыпка для солода мокрого помола составляет $200\text{--}220 \text{ кг/м}^2$, а для солода кондиционированного сухого помола — $170\text{--}180 \text{ кг/м}^2$. Выщелачивание дробины происходит очень равномерно — разница между отпрессованным соком дробины из 10-

15 различных точек составляет менее 0,15 %.

Качество сусла из современных фильтр-чанов характеризуется низким содержанием кислорода (практически нулевым), низкими значениями мутности при содержании твердых веществ в отфильтрованном сусле менее 30 мг/л .

10.2.7. К разделу 2.4.7.

Фильтр-пресс нового поколения

В новых фильтр-прессах мембраны делают из более прочных полимерных материалов. Размер пор фильтрационных салфеток из полипропилена составляет в среднем 70 мкм . Удалось увеличить интервалы между мойками, так что еженедельная средняя производительность составляет 12 варок/сут.

Одна из модификаций фильтр-пресса работает без мембран, но с более тонким фильтрационным слоем ($35\text{--}40 \text{ мм}$). Тем самым при размерах камер $1500 \times 2000 \text{ мм}$ масса засыпи на камеру составляет 97 кг , а для камер размером $2000 \times 2000 \text{ мм}$ — 130 кг , что соответствует $32,5 \text{ кг/м}^2$. Подача затора осуществляется как обычно, снизу. Заполнение фильтра до перелива при работе насоса с максимальной производительностью ($900\text{--}1000 \text{ об/мин}$) происходит в течение 3 мин, а затем, в ходе дальнейшего отзоторивания, производительность насоса снижается, чтобы не превысить давление на входе 1400 мбар . При этом в системе создается соответствующее противодавление, обеспечивающее равномерное распределение затора. При промывании дробины давление достигает 2000 мбар , и при существующем противодавлении регулируется расход воды. Последняя промывная вода вытесняется из фильтра снизу вверх (может применяться воздух или инертный газ). Благодаря используемому давлению содержания влаги в дробине составляет $73\text{--}75 \%$.

Выщелачивание дробины происходит равномерно, концентрация последней промывной воды соответствует низкому содержанию вымываемого экстракта. Содержание растворимого экстракта также

невелико благодаря используемому помолу солода. При этих условиях производство высокоплотного сусла может быть рентабельным. Качество сусла по содержанию кислорода и мутности соответствует принятому в настоящее время уровню.

В заторных фильтр-прессах необходимо контролировать содержание кислорода в промывных водах. В закрытых системах (например, в танках горячей воды) кислород изначально холодной воды (при необходимости умягченной и декарбонизированной) не может улетучиться и переносится затем в заторный фильтр-пресс (см. раздел 2.4.8.6).

10.3. К разделу 2.5.

Кипячение и охмеление сусла

Внутренние кипяtilьники с принудительной подачей (см. разделы 2.5.1.7, 2.5.5, 2.5.6) предназначены для повышения температуры при начальном нагревании сусла и в процессе кипячения не только благодаря действию конвекции в кипяtilьнике, но и с помощью насоса. Вследствие этого скорость сусла в процессе нагревания повышается, а теплопередача улучшается, благодаря чему можно использовать более низкую температуру теплоносителя и избежать нежелательной пульсации. В ходе кипячения температура теплоносителя больше уже не влияет напрямую на интенсивность кипячения, и в зависимости от производительности насоса может быть ниже, что позволяет улучшить регулирование процесса кипячения. Перекачивающий насос во время нагревания обеспечивает шестикратную производительность (по объему сусла в час), которую при кипячении

можно снизить до трёх-четырёхкратной. Забор сусла в насос производится из периферийных зон сусловарочного котла, а возвращение сусла в него — непосредственно под внутренним кипяtilьником. После внутреннего кипяtilьника сусло естественным образом попадает по напорному конусу на двойной экран с большой площадью поверхности для испарения ароматических веществ. Более низкая температура нагревания и повышенная скорость сусла в кипяtilьнике замедляют процесс образования отложений на поверхности нагрева, так что мойка требуется только через 20-40 варок. В одном и том же котле достигаются следующие преимущества:

- снижение температуры горячей воды для нагревания со 160 до 145 °С;
- снижение температуры при кипячении (в течение 75 мин) — со 152 до 135 °С в первые 25 мин кипячения, до 130 °С в следующие 25 мин и затем вновь повышение температуры до 135 °С в конце кипячения;
- ускоренное нагревание фильтрованного сусла до температуры кипячения (20 мин вместо 53) без обычного температурного расслоения сусла;
- существенное улучшение однородности сусла при нагревании и кипячении;
- снижение испарения с 8,5 до 6,7 %;
- улучшение свойств сусла — повышение остаточного содержания коагулируемого белка с 1,8 до 2,3 мг/100 мл, снижение ТБЧ на 15 %, а также содержания 3-метилбутанала, 2-фурфурала и 2-фенилэтанала на 30 %, в том числе карбонильных соединений (продуктов липидного обмена) — на 30-50 %. Расщепление предшественников ДМС, несмотря на уменьшение продолжительности кипячения, остается одинаковым, как и содержание свободного ДМС.

Динамическое кипячение под низким давлением может быть реализовано в сушловарочном котле для варки под давлением (см. раздел 2.5.6.5). Идея, положенная в основу этого метода, состоит в том, что при повышении температуры со 101 до 103 °С и при давлении 150 мбар реакции ускоряются, а благодаря последующей ускоренной декомпрессии (до 50 мбар, температура 101 °С) за счет задержки кипения с образованием пузырьков пара во всем объеме сушловарочного котла происходит существенное увеличение интенсивности кипячения и перемешивания суслу. В результате такого перемешивания (20 объемов/ч) не только улучшается однородность суслу, но и происходит усиленное удаление ароматических веществ.

Процесс/способ протекает следующим образом:

- нагревание фильтрованного суслу с помощью теплообменника с 70 до 95-98 °С;
- кратковременное предварительное кипячение (в течение примерно 2 мин) при атмосферном давлении для удаления воздуха из сушловарочного котла, системы регулировки давления и испарительного конденсатора;
- постепенное повышение давления в сушловарочном котле до достижения температуры 103 °С, ускоренная декомпрессия до температуры 101 °С (занимает 6-7 мин) и повторение этого процесса 5-8 раз в зависимости от предусмотренной продолжительности кипячения;
- кипячение при атмосферном давлении (в течение примерно 5 мин) до достижения нормальной концентрации горячего охмеленного суслу.

Результат:

- сокращение продолжительности кипячения примерно с 65 мин (при классическом кипячении с низким давлением)

до 45-55 мин (в зависимости от того, производилось ли предварительное охлаждение суслу между котлом и вращением, например, до 88-90 °С);

- снижение испарения примерно на 5 % (в случае использования предварительного охлаждения — около 4 %);
- снижение потерь коагулируемого азота примерно на 5 %, меньшее увеличение ТБЧ, усиленное расщепление предшественников ДМС, улучшение испарения свободного ДМС и ароматических веществ суслу (как альдегидов Штрекера, так и карбонильных соединений — продуктов метаболизма липидов).

Внутренние кипячильники с принудительным наполнением и струйным насосом. Через центр пучка труб внутреннего кипячильника проходит труба, на конце которой установлен отражающий экран для распределения суслу. Через эту трубу суслу перекачивается насосом с регулированием числа оборотов (суслу отбирается через симметрично расположенные выпускные отверстия). На отражающий экран суслу подается не снизу, а между регулируемыми по высоте и оптимизированными под данный расход экранами. Регулируемая ширина просвета влияет как на площадь поверхности, так и на степень перемешивания. Непосредственно над пучком труб внутреннего кипячильника смонтирован струйный насос, всасывающий суслу в кипячильник благодаря эффекту Вентури. Производительность струйного насоса примерно в два раза выше, чем у насоса с регулированием числа оборотов, благодаря чему удается избежать перегрева суслу не только в фазе нагревания, но и в процессе собственно кипячения (вследствие интенсивного перемешивания содержимого сушловарочного котла). Всё

это способствует однородной обработке сусла.

Результат:

- снижение температуры теплоносителя (см. выше), благодаря чему достигается разделение показателей температуры теплоносителя и интенсивности кипячения путем регулировки производительности насоса;
- усиленное перемешивание благодаря эффекту Вентури примерно в два раза выше, чем производительность насоса (то есть в час перемешивается 12-15 объемов);
- интенсивное выпаривание ароматических веществ благодаря регулируемому двойному экрану;
- возможность сокращения продолжительности кипячения до 50 мин (при условии предварительного охлаждения сусла между котлом и вирпулом даже более), благодаря чему испарение снижается примерно до 4 %;
- такое кипячение позволяет избежать слишком сильного осаждения белков, поддерживать шадящую термическую нагрузку (ТБЧ, содержание альдегидов Штрекера и фурфурала), добиться эффективного расщепления предшественников ДМС, а также хорошего выпаривания ароматических веществ сусла (в том числе из продуктов расщепления липидов) и свободного ДМС.

Внутренние кипяильники для крупных сусловарочных котлов удалось адаптировать ко всем требованиям современных методов кипячения и обработки сусла.

Что касается кипячения сусла, то важны два обстоятельства.

- Нагревание сусла от температуры фильтрования (70-72 °С) до температуры кипячения. В зависимости от способа подачи сусла в сусловарочный

котел это может вызвать перегрев системы нагревания или привести к образованию в котле зон неравномерного нагрева (часть сусла длительное время находится в области температур 95 °С, а другая его часть продолжает оставаться при исходной температуре). В результате протекают реакции, обуславливающие усиленное образование продуктов реакции Майяра и альдегидов Штрекера, повышающие ТБЧ и способствующие осаждению части высокомолекулярного азота. При использовании внешних кипяильников этого можно избежать путем подачи сусла под углом 23°, а у внутренних кипяильников — благодаря принудительной подаче, обеспечивающей циркуляцию большого количества жидкости и исключаящей перегрев вследствие пульсации. С точки зрения качества и надежности неплохим решением представляется нагревание сусла горячей водой с температурой 96-100 °С почти до температуры кипячения с помощью теплообменника при транспортировке его в котел (см. раздел 2.5.6.2). При необходимости эту горячую воду можно дополнительно нагреть паром. В данном случае речь идет о замкнутом контуре, в связи с чем в качестве теплоносителя используется полностью умягченная вода. Обогрев теплообменника паром менее целесообразен, так как в этом случае температура теплоносителя хуже поддается регулировке и возможен перегрев.

- Дополнительная обработка сусла после собственно кипячения — с одной стороны, путем предварительного охлаждения при перекачивании или с помощью теплообменника (вакуумного каскада), а с другой — путем дополнительной

обработки сула после выдержки горячего сула в вакуумном каскаде или с помощью дополнительного испарения. Благодаря этому можно существенно сократить продолжительность кипячения.

Кипячение сула с помощью вакуумного охладителя с последующим вакуумированием (см. раздел 2.7.7.4) можно проводить в существующем суловарочном котле. Система состоит из внешнего кипятильника, вакуумного охладителя (в котором при перекачивании создается разрежение), испарительного конденсатора суловарочного котла (для рекуперации теплоты и для конденсации вторичного пара) и вакуумного насоса. Вакуумный охладитель представляет собой цилиндрикоконический сосуд, в нижнюю треть которого суло поступает тангенциально в виде тонкой пленки. От конуса его откачивают назад в суловарочный котел или (при перекачивании готового сула) в вирпул. В испарителе во время кипячения поддерживается атмосферное давление. Вторичный пар направляется вверх к испарительному конденсатору суловарочного котла. После кипячения в вакуумном испарителе создается разрежение. До поступления в вирпул суло охлаждается до 88 °С (более низкая температура может стать причиной проблем с седиментацией).

Данный способ позволяет обеспечить:

- сокращение продолжительности кипячения до 50 мин и менее в зависимости от содержания коагулируемого азота и пониженное выделение продуктов термических реакций (определяемое по ТБЧ);
- усиленное удаление ароматических веществ в условиях разрежения;
- заметное сокращение остаточных реакций вследствие снижения температуры,

что заметно по протеканию реакций с ДМС; дальнейшего расщепления предшественников ДМС не происходит;

- снижение испарения до 4-5 %.

10.3.1. К разделам 2.5.6 и 2.7.7. Предварительное охлаждение сула между котлом и вирпулом до 85-90 °С

Предварительное охлаждение сула непосредственно не связано с процессом кипячения и влияет на него косвенно, поскольку реакции, протекающие в сборнике горячего сула при температуре 97-99 °С, несколько ослабляются в зависимости от температуры предварительно охлажденного сула. Таким образом, продолжительность и интенсивность кипячения сула подбирают с учетом других процессов, например, осаждения белков.

Охлаждение осуществляется в пластинчатом охладителе (теплообменнике), который должен быть рассчитан на необходимую высокую производительность по охмеленному сулу. В частности необходимо предусмотреть увеличенное сечение трубопроводов и соответствующую форму пластин теплообменника, чтобы за непродолжительное время перекачивания (около 15 мин) иметь возможность охладить содержимое суловарочного котла (четырёхкратный объем котла в час). Для этого может использоваться холодная пивоваренная или технологическая вода, которая после нагревания до температуры около 80 °С попадает в накопитель горячей воды; теплообменник может быть интегрирован в контур энергосбережения, но для этого потребуется увеличение площади охлаждения.

Проще направить в существующий охладитель часть потока суслу при его перекачивании, при этом чтобы в конечном итоге выйти на температуру смешивания 88 °С требуется охладить 20 % перекачиваемого объема всего до 44 °С.

Благодаря этому достигается:

- сокращение продолжительности кипячения до 50 мин и менее, так как в вируле существенно снижаются термические реакции и расщепление предшественников ДМС;
- ориентация процесса кипячения на другие приоритеты, в частности, на снижение осаждения высокомолекулярных азотсодержащих веществ;
- новыми системами с интенсивным и однородным кипячением обеспечивается необходимая степень выпаривания карбонильных соединений из продуктов окисления липидов, несмотря на сокращение продолжительности кипячения;
- снижение испарения до 4-5 %.

Предварительное охлаждение суслу сочетается со всеми существующими эффективными системами кипячения (внутренними и внешними кипятыльниками), необходимо лишь внести корректировки по горячей воде (прежде всего по рекуперации теплоты).

Способы дополнительного вакуумного испарения предусматривают испарение в вакууме между вирулом и пластинчатым теплообменником, в ходе которого происходит дальнейшее снижение содержания ароматических соединений в сусле. При этом речь идет в основном о таких ароматических веществах, которые образовались во время выдержки горячего суслу и последующего его охлаждения. Это позволяет сократить процесс кипячения и уменьшить испарение (см. выше).

Данный способ предусматривает выдерживание суслу в первой фазе (кипячении) при температуре 97-99 °С в течение 60 мин, благодаря чему испарение составляет около 1 %. Для этого используют суслотарочный котел любой конструкции (с обогревом двойного дна и месильным органом или котел с внутренним кипятыльником), в котором, естественно, можно проводить и обычное кипячение. На второй стадии после вирула в расширительном испарителе при абсолютном давлении около 300 мбар дополнительное испарение составляет около 7 %. При этом достигается температура около 65 °С. Испаритель состоит из верхней эллипсоидной части и цилиндрической нижней части. Суслу после вирула подается в верхнюю часть насосом тангенциально; жидкость благодаря этому приобретает вращательное движение и на стенке емкости формируется тонкий слой суслу. Тем самым создается большая площадь поверхности испарения воды, а также ароматических веществ. При входе в расширительный испаритель суслу оказывается в разреженной среде (абсолютное давление 300 мбар), создаваемой вакуумным водокольцевым насосом, причем испарительный конденсатор для конденсации вторичного пара поддерживает созданное разрежение в текущем режиме. Благодаря обильному выпариванию под вакуумом при температуре суслу 65 °С образуется горячая вода с температурой 60 °С, которую при необходимости, например, для промывания дробины, необходимо дополнительно нагреть.

Эта установка позволяет добиться:

- общего испарения 8 % (1 % — при «горячей выдержке», 7 % — в течение выпаривания под вакуумом);
- меньшей степени осаждения белков благодаря щадящей технологии;

- более глубокого выпаривания ароматических веществ сусла и свободного ДМС, содержание которого к концу горячей выдержки довольно велико;
- образования меньшего количества горячей или теплой воды;
- возможности интеграции расширительного испарителя в существующие аппараты;
- возможности модификации данного способа (например, отведения определенного времени на кипячение и испарение с последующим снижением давления в расширительном испарителе до 600 мбар — в этом случае температура сусла снизится до 85 °С и, соответственно, контур горячей воды сможет работать с более высокой температурой).

Способ вакуумного выпаривания после вирпула можно применять на любой имеющейся установке, но аппарат должен быть рассчитан с запасом так, чтобы по производительности он мог обеспечить обработку существующего количества сусла за необходимое короткое время (в зависимости от продолжительности охлаждения сусла — 45-50 мин) и получать разрежение с абсолютным давлением 500-600 мбар при условии максимальной степени выпаривания ароматических веществ сусла. При варке 700 гл ЦКТ диаметром 1,2 м и общей высотой 2,8 м вмещает 30 гл; перепад высот от насоса на охладитель сусла должен быть для предотвращения кавитации довольно велик (в данном примере — 7 м). С помощью регулятора перепада давления уровень сусла в декомпрессионной ёмкости поддерживается постоянным.

Показатели примерно соответствуют приведенным в табл. 10.1, но для охлаждения под вакуумом до температуры 86 °С они уточняются следующим образом:

- сокращение продолжительности кипячения с 60 до 40 и даже до 30 мин;
- увеличение степени выпаривания с 9 до 6 %, а затем до 4,5 %;
- благодаря испарителю удаляется 83 % свободного ДМС, 63 % продуктов окисления липидов (например, гексаналя и гептаналя), 22 % альдегидов Штрекера и 5 % высших спиртов (3- и 2-метилбутанола, 1-пентанола, 1-октанола, 1-октен-3-ола и 2-фенилэтанола);
- остаточное содержание коагулируемого азота увеличивается на 50 %;
- благодаря меньшему испарению вакуумная установка всего потребляет примерно на 22 % меньше энергии по сравнению с установкой термической компрессии вторичного пара.

10.3.2. К разделам 2.5.1, 2.5.5-2.5.6, 2.7.4, 2.7.7.

Тонкоплёночный выпарной аппарат с дополнительным выпариванием после вирпула

Система кипячения состоит из плоской ёмкости с обогреваемым дном конической формы, разделенным на две зоны нагрева. Сусло через распределительное устройство подается на поверхность нагрева, скапливается в окружающей ее кольцеобразном лотке и перекачивается оттуда в расположенный ниже сборник сусла, использующийся также как вирпул. Площадь поверхности нагрева составляет $7,5\text{м}^2/100\text{гл}$. Процесс при данных параметрах проходит следующим образом:

Нагревание: около 40 мин, 650 гл/ч, избыточное давление

Таблица 10.1. Показатели сусла при кипячении и пенообразующие свойства пива

Показатель	Кипячение		Холодное сусло	Пенообразующие свойства пива по Россу и Кларку, баллов
	Начало	Окончание		
При внутреннем кипячении, 80 мин				
Альдегиды Штрекера	520	130	280	120
Фурфураль	70	170	260	
Производные жирных кислот	210	12	7	
Предшественники ДМС/из них свободных	550/10	80/20	40/50	
Коагулируемый азот, мг/л	50	20	18	
ТБЧ	27	44	55	
При внутреннем кипячении, 60 мин, с предварительным охлаждением сусла до 88 °С				
Альдегиды Штрекера	520	170	185	125
Фурфураль	70	160	185	
Производные жирных кислот	210	25	20	
Предшественники ДМС (свободные)	550/10	120/20	110/30	
Коагулируемый азот, мг/л	50	25	23	
ТБЧ	27	39	44	
При внутреннем кипячении, 60 мин, с вакуумированием после вихря до 80 °С				
Альдегиды Штрекера	520	170	200	125
Фурфураль	70	160	195	
Производные жирных кислот	210	25	4	
Предшественники ДМС (свободные)	550/10	120/20	60/20	
Коагулируемый азот, мг/л	50	25	23	
ТБЧ	27	39	47	

Кипячение: пара 1,5 бар, степень выпаривания 0,5 %;
а) около 20 мин, 500 гл/ч, избыточное давление пара 1,5 бар, степень выпаривания 1,5 %;
б) около 20 мин, 500 гл/ч, избыточное давление пара 0,8 бар, степень выпаривания 1,0 %;

Пауза в вихре: около 15 мин (по необходимости);

Отгонка: около 40 мин, 120 гл/ч, избыточное давление пара 1,5 бар, степень выпаривания 1,5 %.

Отгонка осуществляется перед охладителем сусла; продолжительность охлаждения около 50 мин. Процесс обычно подразделяется на 2 стадии: в первые 20 мин кипячение проводится интенсивнее, а в последующие 20 мин давление пара немного снижают (работает только нижняя поверхность нагревателя).

При нагревании сусла из сборника важно, чтобы оно было однородным, так как после фильтрования оно может расслаиваться. При наличии теплообменника для нагревания в ходе перекачивания из сборника в кипятильник дополнительное нагревание производится всего с 95 до 99 °С, на что уходит 5-7 мин. При кипячении сусло подается в вихрь тангенциально, что способствует достаточно быстрому образованию конуса из осадка взвесей горячего сусла, благодаря чему после короткой паузы можно приступать к выпариванию и охлаждению сусла. Продолжительность охлаждения обычно составляет 50 мин; тем самым для отгонки достаточно избыточного давления пара около 1,5 бар (при более коротком периоде охлаждения, например, 30 мин, может возникнуть необходимость работы с избыточным давлением около 1,8 бар). Во избежание очень высокого расхода и давления в трубопроводе холодного сусла к бродильному танку после пластинчатого охладителя (при условии его повышенной холодопроизводительности) целесообразно расположить буферный танк для холодного сусла с учетом специальных мероприятий по его мойке и дезинфекции.

В результате:

- появляется возможность воздействовать на осаждение белков путем регулирования продолжительности кипячения и температуры теплоносителя; остаточное содержание коагулируемого азота на 50-70 % выше, чем при обычном кипячении, что положительно влияет на пенообразование;
- благодаря короткой продолжительности кипячения и низкой температуре теплоносителя образуется меньше продуктов реакции Майяра и альдегидов Штрекера; их выпариванию способствует

большая площадь поверхности и тонкий слой сусла, а продукты термических реакций, образовавшиеся при выдержке горячего сусла и в ходе процесса охлаждения, выпариваются при последующей отгонке — в результате холодное сусло характеризуется более низким ТБЧ, а также более низким (на 10-15 %) содержанием ароматических веществ;

- ароматические соединения, образующиеся в ходе метаболизма липидов, благодаря небольшой продолжительности кипячения выпариваются меньше, чем при обычном кипячении, однако в ходе последующей отгонки конечное их содержание корректируется до обычного уровня;
- расщепление ДМС-предшественников происходит в меньшей степени, однако образующийся свободный ДМС эффективно выпаривается; в ходе выдержки горячего сусла дополнительно образуется ДМС, но его содержание затем понижается при отгонке приблизительно до 30 мкг/кг;
- пиво характеризуется улучшением пенообразующих свойств, более светлым цветом, а также повышением стабильности вкуса (степень выпаривания ниже 4-4,5 % не рекомендуется); содержание горьких веществ на разных предприятиях несколько отличается ($\pm 5\%$), причем получение типичного хмелевого аромата обеспечивается использованием дополнительной дозирующей ёмкости.

Иные методы дополнительного выпаривания. Дополнительное выпаривание после вихря может быть реализовано с помощью традиционного внутреннего кипяльника, конструкцию которого изменяют так, чтобы верхнюю зону можно было заполнять суслом. Трубы внутреннего

кипятильника оснащают стальными листами, сходящими на конус и позволяющими получать тонкий слой суслу на внутренней стенке трубы кипятильника. Сусло после вихря подается тонким слоем через внутренний кипятильник, в котором происходит выпаривание ароматических веществ.

Иногда для дополнительного выпаривания применяют «стрип-колонну» соответствующей высоты, заполненную небольшими цилиндрическими капсулами. Принцип ее работы состоит в следующем:

- кипячение суслу в течение 5 мин для перемешивания содержимого котла и равномерного распределения хмеля;
- горячая выдержка суслу при температуре кипячения в течение 45 мин;
- повторное кипячение суслу продолжительностью 5-10 мин для регулирования процессов осаждения белков и испарения ароматических веществ суслу (степень общего испарения в первой фазе составляет 1,5-2 %);
- перекачивание в вихрь или сборник горячего суслу с последующей выдержкой (около 30 мин);
- перекачивание суслу через стрип-колонну к охладителю, для чего сусло еще раз дополнительно нагревают до температуры кипения и распыляют в стрип-колонну сверху, после чего оно стекает вниз тонкими струйками по внутренней поверхности стенок колонны; пар подводится противотоком в объеме 1-2 % от количества суслу, что снижает содержание летучих веществ. Степень выпаривания на этой стадии составляет около 1 %. Конденсат из пара и ароматических веществ суслу отводится по теплообменнику для рекуперации теплоты.

В заключение следует отметить, что процесс кипячения суслу иногда делится

на две стадии, благодаря чему улучшаются возможности управления этим процессом. Таким образом, обе классические стадии приготовления суслу — «кипячение» и «охлаждение» следует рассматривать как единый процесс, делящийся на две стадии.

10.3.3. К разделу 2.5.6.

Потребление энергии при кипячении суслу

Потребление энергии необходимо рассматривать с учетом охлаждения суслу. В отличие от метода термической компрессии вторичного пара, которая при степени испарения около 8 % дает экономию около 65 % по сравнению с традиционным кипячением (степень испарения 10-12 % при помощи внутреннего или внешнего кипятильника), при снижении испарения до 4 % теоретически вряд ли можно добиться экономии энергии. Следовательно, проблема сводится к использованию дополнительного оборудования для рекуперации отводимой теплоты, в частности, испарительного конденсатора с аккумулятором тепла для нагрева фильтрованного суслу с 72 до 93-96 °С, который позволяет сберечь 75-80 % энергии. При охлаждении 1 гл суслу образуется 1,1 гл горячей воды температурой 80 °С. Для 12 %-ного суслу при температуре затирания 60-62 °С тем самым удовлетворяется потребность в горячей воде для затирания и фильтрования. В случае охлаждения суслу до 80 °С в вакуумном каскаде теряется 20 % теплоты, которая, однако, преимущественно регенерируется за счет отдельного конденсатора вторичного пара. Рекомендуется учитывать особенности конкретного производства, то есть в каждом случае желательно составлять конкретный массово-энергетический баланс.

10.3.4. К разделу 2.7.4. Прочие процессы (изменения свойств сусла между окончанием кипячения сусла и окончанием охлаждения)

В ходе перекачивания, а при обычной выдержке горячего сусла в вирпуле (или другом танке) при температуре около 97 °С цветность сусла увеличивается до 2 ед. ЕВС (см. раздел 2.7.4.1). Независимо от процессов окисления это увеличение цветности обусловлено главным образом дальнейшим образованием продуктов реакции Майяра и альдегидов Штрекера, которые в ходе этого «статичного» процесса уже не испаряются. Это также заметно по росту ТБЧ (тиобарбитурового числа), которое в зависимости от времени увеличивается примерно на 33 %. По этой причине во избежание ухудшения вкуса пива и его стабильности время между окончанием кипячения и концом охлаждения должно составлять не более 110 мин.

При традиционном кипячении в течение 90 мин отмечается увеличение содержания продуктов термических реакций: 2- и 3-метилбутанала — на 50-100 %, 2-фенилэтанола — примерно на 30 %, 2-фурфурала — на 50-80 %, некоторых N-гетероциклических соединений — примерно на 30 %, бензальдегида — на 20-30 %. Содержание веществ-продуктов метаболизма липидов, как правило, несколько снижается. Предшественник ДМС (S-метилметионин) продолжает расщепляться (примерно на 50 %), причем образующийся свободный ДМС уже не выпаривается. Содержание хмелевых масел в зависимости от средней продолжительности кипячения с хмелем или времени последнего его внесения возрастает на 30 %,

а оксисоединений — на 20 %, что объясняется экстракцией ароматических веществ хмеля из осадка взвесей горячего охмеленного сусла (преимущественно из хмелевых гранул).

В этих условиях и в зависимости от содержания α -кислот и средней продолжительности кипячения между окончанием кипячения и концом охлаждения происходит дальнейшая экстракция горьких веществ из осадка взвесей сусла. При этом неизомеризованные до этого момента при кипячении α -кислоты также изомеризуются, так что степень изомеризации может составить 15-25 %.

10.3.5. К разделу 2.7.7. Закрытые системы охлаждения сусла

Простейшим способом отделения взвесей и охлаждения сусла является перекачивание в течение 10-20 мин готового сусла в вирпул или танк для осаждения и после седиментации взвесей горячего сусла (в течение 25-40 мин) — охлаждение в пластинчатом теплообменнике и затем подача необходимого для размножения дрожжей воздуха при перекачивании в танк брожения.

Широко распространенный способ частичного удаления осадка взвесей охлажденного сусла в настоящее время все более подвергается сомнению, но этот вопрос мы рассмотрим далее.

В современных методах кипячения сусла (см. разделы 2.5.6.3 и 10.3.1) некоторые технологии предусматривают обработку сусла после кипячения или в ходе процесса охлаждения сусла. Здесь возможны следующие варианты.

- Применение при перекачивании сусла вакуумного охладителя (см. раздел 2.7.7.4). Под действием разрежения

(400 мбар) сусло охлаждается до 70-75 °С, что обуславливает значительное выпаривание из сусла ароматических веществ. При указанной температуре дополнительного образования продуктов реакции Майяра и альдегидов Штрекера почти не происходит, как не происходит и расщепления предшественников ДМС. В этом случае консистенция осадков взвесей горячего сусла настолько изменяется, что они больше не осаждаются в вирпуле, — их можно удалить с помощью центрифуги или фильтров для горячего сусла, но интенсивное выпаривание ароматических веществ сусла оправдывает существенное снижение интенсивности кипячения сусла.

- Простое охлаждение сусла при перекачивании с помощью пластинчатого или трубчатого охладителя до 80-90 °С (в зависимости от желаемого эффекта и функции вирпула). Уже при охлаждении до температуры 88-90 °С процессы образования ароматических веществ, а также расщепление предшественников ДМС заметно замедляются. Кипячение сусла оптимизируют по таким показателям, как ограничение осаждения белков и энергопотребление. В большинстве случаев продолжительность кипячения можно сократить на 15-25 %. Недостатком методов охлаждения сусла после перекачивания является заметное снижение степени дополнительной изомеризации, которая не превышает 0-5 %. Если цель заключается в получении пива с хмелевым ароматом, то внесение гранул ароматического хмеля (до 25 % от всей доли α -кислот) положительно сказывается на хмелевом оттенке пива (аромат, округлость вкуса).
- Применение вакуумного каскада между вирпулом и пластинчатым охладителем

для удаления из осветленного сусла части ароматических веществ (к ним относятся также ароматические вещества, образовавшиеся во время выдержки горячего сусла и до окончания процесса охлаждения). Под действием вакуума абсолютное давление снижается с 300 до 500 мбар в зависимости от уровня понижения температуры (до 65-80 °С) или степени удаления летучих веществ. В условиях более низкого вакуума процесс кипячения может быть ограничен выдержкой при температуре кипения, однако при давлении порядка 500 мбар продолжительность кипячения сокращается примерно на 30 %.

- Выпаривание прокипяченного и осветленного сусла в тонкоплочном выпарном аппарате или в стрип-колонне со степенью выпаривания 1-1,5 %. При этом выпаривается часть ароматических веществ сусла, в том числе свободный ДМС, что позволяет сократить продолжительность кипячения сусла.

При использовании методов дополнительного выпаривания может произойти потеря ароматических веществ хмеля, так как они удаляются вместе с другими ароматическими веществами. Если требуется получить какой-либо выраженный аромат, то одну из емкостей для внесения хмеля следует разместить таким образом, чтобы сусло после вакуумного или тонкоплочного выпарного аппарата проходило через эту емкость, где могло бы осуществляться растворение ароматических веществ из последней порции хмеля.

Продолжительность охлаждения сусла должна быть подобрана с таким расчетом, чтобы общее время между окончанием кипячения и охлаждения не превышало 110, даже 90 мин. Производительность охладителя сусла должна соответствовать

перекачиваемому количеству суслу (на варку и в час), а иногда 1-2-кратному его количеству. При предварительном охлаждении суслу до 80-90 °С всю варку необходимо перекачать через охладитель примерно за 15 мин, для чего в пластинчатом охладителе необходимы трубопроводы и переходы большего диаметра; следует также учитывать, что через охладитель проходит весь осадок взвесей охмеленного суслу. В этом случае целесообразнее охладить до более низкой температуры лишь часть варки и обеспечить на входе в вихрь хорошее перемешивание. Если варка охлаждена до 80-90 °С, то все описанные процессы замедляются, и допустимая продолжительность охлаждения увеличивается до 60-70 мин.

Удаление осадка взвесей охлажденного суслу в настоящее время считается ненужным, поскольку благодаря существенному улучшению фильтрования (как оборудования, так и технологии) в сусле содержится меньше частиц мути, вследствие чего кипячению подвергается меньшее количество твердых частиц, а в вихре суслу лучше осветляется. Оказалось, что в этих условиях брожение протекает быстрее, а последующие процессы осветления протекают лучше, что при известных условиях положительно влияет на фильтруемость пива. Методы седиментации взвесей охлажденного суслу (без дрожжей) и холодной сепарации (см. раздел 2.7.7.2) были внедрены раньше, чем методы холодного фильтрования и флотации. Недостатком последней можно считать то, что большое количество воздуха, необходимое для транспортировки частиц осадка взвесей холодного суслу (даже при осаждении их с дрожжами) способно обусловить окисление компонентов суслу (прежде всего редуцирующих веществ). С другой стороны,

благодаря флотационному эффекту вместе с осадком взвесей холодного суслу удаляются также высокомолекулярные, частично ненасыщенные жирные кислоты. Поскольку они считались стимулирующими пенообразование, это требовало в случае длительного пребывания суслу во флотационном танке эффективной дополнительной аэрации для синтеза стеролов, необходимых для размножения дрожжей и увеличения содержания ненасыщенных жирных кислот. Такое дополнительное аэрирование способствует улучшению размножения дрожжей и ускорению брожения, однако при этом образуется меньше SO_2 , так что полученное пиво характеризуется сокращением лаг-фазы и снижением стабильности вкуса (об этом см. далее). Это проявляется, прежде всего, при неоднократном доливе флотированных или дополнительно аэрированных партий суслу. Напротив, благоприятным фактором оказалось аэрирование не всех варок из одного танка брожения, причем очередность аэрирования зависит от последовательности варок и количества доливов.

Таким образом, потребность в воздухе по сравнению с потребностью в нем при флотации снижается и составляет около 10 л/гл. Для получения маленьких пузырьков воздуха размером 0,1 мкм требуется специальное оборудование (см. раздел 2.7.7.3). При заполнении бродительного танка суслom из нескольких варок следует избегать наслоения (аэрированного суслу с внесенными дрожжами и последующих варок без дрожжей и аэрирования). При этом может оказаться необходимым передача по трубопроводу подачи суслу в танк пневматических импульсов продолжительностью в несколько секунд каждый с образованием крупных пузырей воздуха.

Для отделения осадка взвесей холодного сусла (см. раздел 2.7.7.2) на некоторых предприятиях используют герметичные центрифуги высокой производительности (200-700 гл/ч) с тарелками, имеющими большую площадь поверхности. Энергопотребление самых крупных центрифуг составляет около 8 кВт/100 гл. Центрифуга работает в режиме полного удаления осадка взвесей горячего сусла, причем последние остатки осадка удаляются стерильной горячей водой. Чтобы не прерывать протекание сусла во время разгрузки центрифуги и обойтись без буферного танка для холодного сусла, в обход центрифуги монтируют байпас.

При работе центрифуги с полной производительностью достигается эффект разделения в 40-55 % (в зависимости от исходного содержания в сусле взвешенных частиц). При этом отделяется также еще содержащееся в сусле небольшое количество осадка взвесей горячего сусла. Как правило, содержание осадка взвесей охлажденного сусла, включая нецентрифугированные компоненты, составляет 130-140 мг/л. Потери составляют около 0,15-0,20 %. Многочисленные испытания свидетельствуют об улучшении стабильности вкуса у пива из сусла, осветленного в охлажденном состоянии.

Мойка центрифуги проводится вместе с мойкой контура охлаждения, то есть каждые 7-8 варок 3 %-ным раствором NaOH, а в конце рабочей недели — дополнительно кислотным моющим средством.

Некоторые выводы

Благодаря отказу от отделения осадка взвесей охлажденного сусла удалось существенно упростить завершающую стадию производства сусла. Имеющийся осадок взвесей горячего сусла удаляется в процессе холодной седиментации и осветления. Целесообразно также через

6 ч после заполнения бродительного танка удалить отстой, осевший в конусе.

При разделении процесса кипячения сусла на стадии или при предварительном охлаждении сусла участок обработки сусла разделяют на отдельные зоны, причем следует обеспечить возможности для маневра (даже при полной автоматизации).

10.3.6. К разделу 2.8.2. Расчёт выхода экстракта с холодным суслом

Все более широкое применение в гарантийных обязательствах, особенно на международном уровне, находит показатель общего выхода экстракта (*Overall-Brew-house-Yield, OBY*). Цель введения такого показателя заключается в регистрации выхода экстракта с холодным суслом, включая все остатки экстракта (за исключением дробины), и его соотношении с экстрактом, внесенным с солодом (по BCB в конгрессном сусле).

- А) Выход холодного сусла рассчитывают так, как описано в раздел 2.8.1.1.
- Б) Содержание экстракта в сборнике для осадка взвесей холодного сусла (см. раздел 2.8.2.2).
- В) Содержание экстракта в последней промывной воде (см. п. «Б»).

Количество солода следует определять с помощью тарированных весов, что на некотором оборудовании трудно выполнить или вообще невозможно. Текущий отбор проб лучше проводить в автоматическом режиме отдельно для каждой варки. Необходимо учитывать также возможные потери при механической транспортировке солода на участок затирания.

По стандарту DIN 8777 регламентированы только потери на дробину по критериям «вымываемого» и «растворимого»

экстракта. Таким образом, наибольшее значение придается точности анализа дробины, прежде всего отбору наиболее репрезентативной средней пробы (например, за время полного удаления дробины из вертикальной шахты в бункер для дробины). При нормальном содержании СВ в начальном сусле (11,5-12,5 %) предельные значения вымываемого и растворимого экстракта составляют соответственно 0,8 % в пересчете на сырую дробину, вследствие чего общие потери достигают 1,6 %. Для высокоплотного пивоварения (см. главу 9) значения вымываемого экстракта следует скорректировать в большую сторону с учетом пониженного испарения в современных системах кипячения сусла.

Итак, при расчете общего выхода экстракта значения экстракта в холодном сусле суммируются экстракты, полученные из отстойного сусла и последней промывной воды. При добавлении осадка взвесей сусла в фильтр-чан после фильтрования первого сусла или в фильтр-пресс незадолго до или в ходе отзоторивания, а также при повторном использовании последней промывной воды можно отказаться от его выделения. При этом следует учитывать, что благодаря добавлению взвесей сусла в фильтр-чан содержащийся в них экстракт можно извлечь лишь на 80-90 %, в связи с чем (особенно в случае небольшого количества промывных вод) значение вымываемого экстракта может несколько повыситься. Это повышение не всегда можно компенсировать полностью (например, путем добавления последней промывной воды при затирании). Необходимо учитывать, что продолжительность фильтрования более крупных объемов последней промывной воды (при производительности фильтр-чана и фильтр-пресса в 12 варок/сут) становится слишком большой.

С учетом данных, приведенных в разделе 2.8.2.2, и лабораторного выхода воздушно-сухого солода в 77,1 % общий выход экстракта достигает 98,8 %. В него входит также экстракт отстоя взвесей хмеля (1,9 %), и без него выход составил бы лишь 96,9 %. Поскольку уменьшение испарения наряду с более концентрированным суслом при высокоплотном пивоварении (14,5 % вместо 11,5 %) даёт снижение в 1,1 % (0,3 + 0,8), то указанный выше общий выход экстракта может составить около 97,7 %, что не влечет заметных его потерь. Таким образом, имеет смысл положить в основу гарантийных обязательств общее количество полученного экстракта (экстракт из холодного сусла наряду с отстоем взвесей охмеленного сусла и последней промывной воды). При этом имеют место небольшие отклонения в зависимости от экстракта, внесенного с последней промывной воды, но их также можно рассчитать.

10.4. К главе 3: Технология брожения

10.4.1. К разделу 3.4.3. Внесение дрожжей в сусло при главном брожении

Исследования в области стабильности вкуса пива однозначно свидетельствуют о необходимости выделения достаточного количества SO_2 во время брожения. Хотя образование SO_2 при брожении определяется в том числе и расой дрожжей (см. раздел 3.2.4.1), но для той же расы дрожжей решающее значение имеет все же способ их внесения (включая внесение семенных дрожжей доливом при

использовании танков на несколько варок).

Дрожжи добавляют в первую варку в количестве 15 млн дрожжевых клеток (в пересчете на общее количество). Степень аэрации составляет около 8 мг O_2 /л, а в варках с более высоким содержанием начального суслу — несколько больше. Желательно по возможности применять тонкое распределение воздуха с помощью специальных аппаратов (см. раздел 2.7.7.3) — трубок Вентури, струйных смесителей или стационарных мешалок. Важно вводить дрожжи в уже аэрированное сусло, что позволяет предотвратить действие на дрожжи усилий сдвига. Практиковавшееся ранее внесение дрожжей в каждую варку с точки зрения физиологии дрожжей менее целесообразно, так как дрожжи, дозированные первыми, уже усвоили ростовые вещества из суслу и в варках, долитых позднее, конкурируют с добавленными позже дрожжами. Размножение дрожжей, внесенных последними, тем самым замедляется, и общая масса дрожжей в конечном итоге оказывается в худшем физиологическом состоянии.

После внесения дрожжей и аэрирования первой варки последующие варки уже больше не аэрируют. Схема аэрирования зависит от количества доливаемых варок и от интервалов между доливками. В танк, вмещающий 2 варки, дрожжи вводят только в первую варку и проводят аэрирование. В танке на 4 варки первая варка получает дрожжи и воздух, вторая варка (через 2,5 ч) остается неаэрированной, как и третья (в общей сложности через 5 ч), а четвертую варку (через 7,5 ч) можно снова аэрировать. При начальной температуре суслу при внесении дрожжей и температуре брожения около 9-10 °С произвести долив в уже аэрированную

варку в первый раз можно через 7-8 ч. При добавлении неаэрированных варок необходимо обеспечивать хорошее перемешивание содержимого танка. Это обычно достигается высокой скоростью суслу на входе, однако при этом может возникать расслоение суслу с возможностью его инфицирования, что вызывает появление в аромате фенольных или «овощных» оттенков (из-за присутствия ДМС). Эти явления можно устранить импульсной подачей крупных пузырей воздуха через суслопровод (3-4 импульса продолжительностью в несколько секунд каждый). Поскольку воздух в форме крупных пузырей улетучивается, то поглощения суслем кислорода (в данном случае нежелательного) не происходит. Контролировать эффективность перемешивания рекомендуется путем определения экстрактивности (в неаэрированные варки можно также подавать азот).

При внесении ассимилированных дрожжей и доливе аэрированного суслу через заданные интервалы времени содержание SO_2 будет низким. Эти очень жизнеспособные дрожжи характеризуются оптимальным липидным обменом, так что размножение клеток в ходе брожения почти не ограничивается или ограничивается позднее. Способность к образованию SO_2 проявляется только после внесения дрожжей, и поэтому эти «свежие» дрожжи дозируют вместе с двойным количеством уже собранных дрожжей, соблюдая описанную выше схему аэрации при внесении дрожжей доливом.

При проведении этих мероприятий, направленных на повышение содержания SO_2 , нельзя допускать замедления брожения и созревания, а снижение значения pH должно быть равномерным. Вследствие пониженной способности дрожжей

к размножению в пиве сохраняется несколько повышенное содержание ассимилируемого азота.

Описанная технология позволяет считать целесообразным отказ от флотации и дополнительной аэрации. Сусло, приготовленное в современных фильтр-чанах или фильтр-прессах и осветленное в вирпулах с хорошей степенью осветления, делает излишним удаление осадка взвесей холодного сусла. Если эффективность вирпула недостаточна, то в описанную выше технологию может быть успешно интегрирован метод седиментации взвесей охлажденного сусла. Дополнительной операцией по очистке сусла является также удаление взвесей горячего охмеленного сусла примерно через 6 ч после полного заполнения танка.

В указанных условиях брожение протекает при температурах 9-10 °С. В более крупных танках, в частности в ЦКТ, рассчитанных на несколько варок, температуры брожения выбирают в пределах 12-14 °С, адаптируя брожение и созревание к недельному циклу. При этом необходимо стремиться к снижению значения экстрактивности в течение суток на 2,7-3,0 %, то есть вдвое за 2,5 сут. Сначала брожение должно протекать без применения давления (не считая 0,1 бар, необходимых для рекуперации CO₂). Лишь после достижения степени сбраживания 25-33 % давление можно повысить до 0,3 бар, чтобы затем, начиная со степени сбраживания 50-60 %, установить его на величину, необходимую для насыщения CO₂ (при температуре 14 °С и водяном столбе 12 м избыточное давление составляет 0,8 бар).

Сбор дрожжей следует производить как можно раньше. В большинстве случаев дрожжей, полученных при достижении конечной степени сбраживания

(КСС), хватает для внесения дрожжей в удвоенное количество последующих варок. Если дрожжи оседают вяло, то их следует собирать лишь после расщепления 2-ацетолактата, а возможно, даже после охлаждения. Преимуществом здесь является то, что дрожжи при сборе холоднее (благодаря чему их слой не изолирует охлаждающую рубашку конуса), а недостаток состоит в том, что дрожжи как минимум 3 сут находятся в перебродившем субстрате при температуре брожения или созревания и под давлением слоя жидкости, а также давления шпунтования. На этой стадии нельзя допускать ни повышения значения рН, ни увеличения содержания свободного α-аминного азота, которые служат показателями ухудшения физиологического состояния дрожжей. Обычно этот процесс сопровождается выделением высокомолекулярных жирных кислот, приводящих к ухудшению вкуса и пены. Снижение пеностойкости обусловлено развитием в дрожжах протеазы А при его выделении в конце брожения или во время дображивания, однако решающее значение имеет физиологическое состояние дрожжей. В случае неправильного разведения дрожжей, а также при слишком теплом и длительном их хранении (возможно, в условиях давления и наличия CO₂) при брожении образуется намного больше протеазы, чем при использовании дрожжей в оптимальном состоянии (см. далее).

При наличии двух танков желательнее, чтобы дрожжи незадолго до достижения КСС можно было собрать с помощью центрифуги для молодого пива так, чтобы получить требуемое содержание клеток в молодом пиве. Эти дрожжи из-за действия центрифуги на 5-7 °С теплее молодого пива, однако впоследствии они все равно охлаждаются в охладителе до

2-3 °С. При использовании центрифуги для молодого пива (см. раздел 3.6.2.3) следует следить за тем, чтобы дрожжи в ней нагревались не слишком сильно. Повышение температуры до 14 °С удаётся снизить примерно вдвое благодаря более частому удалению дрожжевого отстоя и увеличению длительности этой операции. Когда в центрифугированных дрожжах накапливаются частицы мути, содержание которых увеличивается при многократном внесении дрожжей, возникает проблема забивки фильтра. Таким образом, при фильтровании молодого пива необходимо тщательно контролировать свойства дрожжей (в случае их повторного внесения). Если же от последующего внесения дрожжей отказываются, то можно ориентироваться на содержание СВ. В этом случае собранные в танке дрожжи перед перекачиванием и центрифугированием для получения молодого пива можно равномерно подмешать к пиву, предназначенному для осветления. В данном случае созревание проводят при температуре брожения в ЦКТ для дображивания. После расщепления 2-ацетолактата через 2 сут проводят охлаждение и перемешивание путем продувки CO₂ до температуры отделения дображивания (-1 °С).

При однотанковом способе своевременно собрать дрожжи (с учетом их физиологических свойств) труднее. Основное количество дрожжей оседает после охлаждения до 3-5 °С или ниже (желательно до -1 °С). Учитывая упомянутые негативные эффекты, такие дрожжи следует вносить всего 2-3 раза, причем представление о правильности количества циклов внесения, о необходимости их сокращения или увеличения дает контроль значения pH и содержания свободного α-аминного азота. В ходе дображи-

вания удаление отстоя мути следует производить каждые 2 сут, а при холодной выдержке — каждые 3-7 сут в зависимости от состояния дрожжей. При охлаждении содержимого танка для достижения одинаковой температуры в танке целесообразно поддерживать конвекцию (описанными выше способами). Так как бродильные танки вследствие необходимости учета пространства для подъема пены при брожении заполняют лишь на 75-80 %, хорошо зарекомендовал себя на практике способ, при котором после завершения главного брожения и сбора дрожжей емкость заполняется пивом другой партии. Вопреки опасениям кромка завитков в этом случае не распадается, и у готового пива не обнаруживается отличий по оттенку горечи.

Сбраживание высокоплотного сусла (к разделу 9.2). В концентрированном сусле экстрактивностью 13,5-16 % при одинаковых параметрах брожения (см. выше) содержание сложных эфиров и SO₂ выше. Первоначально для контроля образования сложных эфиров или его подавления до такой степени, при которой их содержание в разбавленном пиве было бы примерно равно их содержанию в оригинальном пиве, предпринимались все меры стимулирования размножения дрожжей — интенсивное аэрирование сусла, дополнительное или частичное аэрирование дрожжей и сусла, однако в результате снижалось содержание SO₂ с соответствующим влиянием на лаг-фазу дрожжей.

В связи с этим при сбраживании концентрированного сусла уменьшают интенсивность аэрирования. Если, например, в первую варку вносятся все дрожжи и оптимальное количество кислорода, то в бродильном танке на четыре варки аэрируется также вторая варка (долитая

через 2,5 ч) в количестве 8-10 мг O_2 /л, а две последующие варки уже не аэрируют. Так как концентрированное сусло и без того способствует усиленному образованию SO_2 , то четвертая варка может выдержать еще одно аэрирование. Как уже отмечалось, при внесении дрожжей в первую варку и экономном аэрировании (или без него) следует обеспечить хорошее перемешивание всего количества дрожжей — или путем аэрирования последней варки, или продувкой азотом.

Особое внимание следует уделять обработке и поддержанию жизнеспособности дрожжей (см. далее).

10.4.2. К разделу 3.3.2.

Разведение чистой культуры пивных дрожжей

Для оптимизации физиологических свойств и бродильной силы дрожжей, разведенных непосредственно на производстве, предлагаются различные пропaгаторы (установки для разведения дрожжей). При рассмотрении различных технологий следует учитывать, что размножение дрожжей должно протекать, с одной стороны, в оптимальных условиях для их роста, а с другой — быть наилучшим образом адаптировано к имеющимся производственным условиям. Для получения качественного пива в ходе главного брожения должны применяться свежие, активные и хорошо адаптированные дрожжи, причем по возможности в низкой дозировке. Это возможно только в том случае, когда при размножении дрожжей согласованы потребление ассимилируемых Сахаров (> 6 %) и кислорода, а также температура и условия перемешивания

дрожжевой суспензии и сусла, что позволяет поддерживать логарифмическую фазу роста дрожжей.

Эти благоприятные условия достигаются в установке, оборудованной системой управления по питательным веществам и подаче воздуха. При этом температурный режим выбирается с учетом желательной температуры внесения дрожжей и не должен превышать ее более чем на 6 °С. Требуемое количество дрожжей обеспечивается путем использования емкостей соответствующих размеров или нескольких ЦКТ. Так как дрожжи здесь всегда одинаково активны, то их дозировку можно понизить до 20-50 % от первоначальной нормы внесения. В условиях очень низких температур сусла при внесении дрожжей на предприятиях по производству пива низового брожения неизбежно приходится поддерживать более низкие температуры, из-за чего сбор дрожжей осуществляется медленнее. В связи с этим рекомендуется проводить смешивание с маточными дрожжами (до 60-80 % маточных дрожжей).

Данная установка имеет очень простую конструкцию и состоит, как правило, из двух ЦКТ и соответствующей системы подачи воздуха. Танки соединены между собой трубопроводами. Для предотвращения воздействия сдвига дозирование воздуха рекомендуется осуществлять при помощи Т-образной насадки. Кроме того, предусмотрена система внутренней аэрации, состоящая из форсунок или распылительного кольца, нагревательных и охлаждающих элементов, КИПиА (для определения CO_2 , O_2 , температуры и мутности), а также приборов управления.

С учетом имеющихся производственных условий в установке 1 в определен-

ной пропорции смешивается вносимая дрожжевая суспензия и горячее охмелённое сусло. Благодаря аэрации обеспечивается рост дрожжевых клеток, а после того как их количество составит, например, 100 млн, добавляются следующие партии сусла до тех пор, пока в установке не будет достигнуто требуемое количество дрожжевых клеток. Как только в ассимиляторе 1 будет содержаться 100 млн клеток/мл, в установке 2 осуществляется сбор новых дрожжей (см. также разделы 3.3.2.2 и 3.4.3.5). Важно своевременно добавлять сусло (его экстрактивность не должна быть ниже 6 %). Определённые проблемы может вызвать слишком короткая продолжительность варок в течение недели. В этом случае целесообразно несколько снизить температуру так, чтобы экстрактивность сусла в пропагаторе поддерживалась бы на уровне 6-7 %.

Пиво на основе таких дрожжей имеет чистый, мягкий и округлый вкус. Брожение начинается быстрее, значение pH понижается резче и сильнее, а общая продолжительность брожения сокращается. Происходит также ускоренное восстановление общего диацетила, отсутствуют типичные признаки недостаточной обработки дрожжей (в частности, сернисто-дрожжевой привкус, размытая дрожжевая остаточная горечь, повышенное значение pH пива и повышенное содержание разрушающих пену жирных кислот, особенно декановой). Большим преимуществом данного метода является также высокая сопротивляемость дрожжей к микроорганизмам, вызывающим порчу пива.

К преимуществам новых методов разведения чистой культуры дрожжей относятся:

- упразднение классического трудоемкого процесса «освежения» дрожжей в стерильных условиях;
- возможность использования обычного производственного сусла и исключение дополнительной термической нагрузки;
- повышенная сопротивляемость производственных дрожжей и, соответственно, высокая микробиологическая безопасность;
- отсутствие танка для сусла;
- возможность целенаправленного управления логарифмической фазой размножения дрожжей путем регулирования таких параметров, как содержание O_2 , значение pH, экстрактивность, температура и условия перемешивания;
- снижение энерго- и трудозатрат с помощью автоматизации;
- возможность проведения CIP-мойки в любое время путем простого отключения установки.

10.4.3. К разделу 3.3.6.

Хранение дрожжей

При обработке дрожжей после их сбора важным условием для обеспечения последующих циклов надлежащего ведения дрожжей является сброс давления с одновременным удалением CO_2 , а также охлаждение до температуры ниже 3 °C. Для сброса давления и удаления CO_2 лучше всего подходит дрожжевое вибросито закрытой конструкции, интегрированное в систему CIP. Маточные дрожжи лучше всего собирать в танк с месильным органом, работающим на низких оборотах, сбросить давление, процедить и, наконец, перекачать через охладитель. Если в современных технологиях дрожжи собирают в большинстве случаев при температуре брожения, то

СО₂ лучше удалять в охлажденном состоянии. Существуют установки, в которых дрожжи сначала охлаждаются, затем процеживаются, а сброс давления осуществляется в охладителе. Охлаждение дрожжей имеет смысл также в том случае, когда дрожжи снова вводят уже через сутки, так как при этом происходит ингибирование процессов их обмена веществ и не возникает ухудшения физиологических свойств. Такая обработка допускает более длительное хранение дрожжей в течение 3-7 сут. В последнем случае в целях создания приемлемой для дрожжей среды целесообразно добавить около 10 % воды (при повышенном содержании экстрактивных веществ в начальном сусле — несколько больше). Этот эффект подтверждается методом проверки жизнеспособности дрожжей (см. раздел 3.3.8). При таком подборе оборудования важно, чтобы ни в насосах, ни в охладителе дрожжи не подвергались действию сил сдвига.

Перед транспортировкой дрожжей за хранение их аэрировать не нужно, наоборот, по физиологическим соображениям оно даже нежелательно, так как стимулировало бы дрожжи к размножению, а из-за отсутствия субстрата они расходовали бы собственные резервные вещества (например, гликоген), что вызвало бы их ослабление. При отсутствии вибросита СО₂ можно удалять из дрожжей несильной, но регулируемой циркулирующей воздухом, ограниченной по времени.

Аэрирование, а также смешивание с суслом (например, в пропорции 1:1) в этом случае следует проводить за полсуток или за сутки до внесения дрожжей. В это время аэробные бактерии, обычно присутствующие в дрожжах как контаминанты, практически не успевают размножиться. Если же проводить аэрирование

в начале хранения дрожжей, то содержание микроорганизмов может сильно возрасти и вызвать дефекты вкуса или технологические проблемы.

10.4.4. К разделу 3.3.8.

Определение жизнеспособности дрожжей

Осуществлять дозирование дрожжей рекомендуется на основе определения доли живых клеток (по результатам мониторинга). Вдоль трубопровода для дрожжей создается электрическое поле, которое позволяет кондуктометрически регистрировать только живые клетки. Этот метод можно применять в широком диапазоне значений концентрации клеток; с его помощью определяются как дозировка дрожжей при внесении, так и доля живых дрожжевых клеток при сборе дрожжей.

Очень информативным, хотя и трудоемким методом является определение межклеточного значения рН (*ICP*). Свежесобранные дрожжи в оптимальном состоянии характеризуются значением рН около 6,2; любое его снижение свидетельствует о потере клетками жизнеспособности (например, об ухудшении способности к брожению и замедлении восстановления диацетила). В ходе брожения и созревания межклеточное значение рН убывает, однако снижением значения рН дрожжи реагируют на ухудшение условий хранения (слишком продолжительное, излишне теплое, под давлением, воздействие СО₂ и этанола). Разработан также ускоренный метод определения значения *ICP* с той же степенью достоверности — на его проведение вместо прежних 3,5 ч требуется лишь полчаса.

Еще одним методом определения жизнеспособности дрожжей, результаты которого хорошо коррелируют с методом ICP, является так называемый тест «на увеличение давления» (в ходе испытания измеряется давление, создаваемое дрожжами после добавления суслу за определенный промежуток времени в герметичной емкости).

10.5. К главе 4: Фильтрация пива

10.5.1. К разделу 4.2.2. Кизельгур

Модернизация *горизонтального фильтра* (см. раздел 4.2.2.2) подразумевает новую конструкцию рамы для намыва, позволяющую использовать восстанавливаемые фильтрующие составы. В фильтрующие элементы через полый вал поступает нефильтрат, при этом двойная кольцевая втулка обеспечивает равномерное распределение вспомогательного фильтрующего состава в пластинчатом фильтрующем элементе. Эта мера позволяет предотвратить расслоение кизельгура и использование пространства для отделяемых взвесей до 95 %.

Пластинчатый фильтрующий элемент состоит из главного фильтра и дополнительных фильтрующих элементов одинаковой конструкции и размера. При помощи специального приспособления главный фильтр можно отделить от фильтрующих элементов.

Такой фильтр можно сразу (без предварительной настройки) подключать: фильтрующий материал наносится на фильтр в циркуляционном режиме в системе, заполненной декарбонизированной водой, после чего фильтр промывают CO_2 .

По окончании фильтрации остаточный объем пропускают через дополнительные фильтрующие элементы. За счет дополнительных фильтрующих элементов при смене пива количество воды для смешивания можно поддерживать на низком уровне, однако на это требуется определенное время, так как производительность фильтра при фильтрации через дополнительные фильтрующие элементы приходится снизить.

Удаление кизельгура осуществляется путем центробежного отделения. Оригинальная подшипниковая опора фильтр-пакета обеспечивает улучшение плавности работы и тем самым снижает износ. Площадь поставляемых фильтрующих поверхностей колеблется от 30 до 100 м²; максимальное намываемое количество кизельгура составляет 11 кг/м². Производительность фильтрации в зависимости от типа пива — 4–9 гл/м² в час.

Новый *свечной фильтр* (см. раздел 4.2.2.2) имеет регистровый сток фильтрата, заменивший традиционную перфорированную траверсу для крепления свечей, которые расположены на системе труб. Фильтрат (пермеат) стекает внутри свечей по двум трубопроводам. Фильтрующие элементы (свечи) обладают высокой прочностью, что позволяет увеличить их длину и тем самым использовать корпус меньшего диаметра. В корпусе фильтра, как обычно, скапливается нефильтрат (ретентат). На крышке фильтра расположен байпас, отводящий ретентат и обеспечивающий равномерный расход. Отдельные потоки пермеата и ретентата можно регулировать и контролировать независимо друг от друга, благодаря чему производительность фильтра можно согласовать со степенью фильтруемости и предотвратить оседание

грубых частиц кизельгура в нижней зоне. Объемный расход по байпасу не зависит от объемного расхода фильтрования и определяется вспомогательными фильтрующими веществами и притоком к фильтрующим элементам.

Нанесение фильтрующего материала на фильтр как обычно производится циркуляционно в корпусе фильтра, заполненным деаэрированной водой. Байпас регулируют примерно на 10 % производительности предварительной намывки фильтра. Намывная вода отводится затем через байпас, и небольшой объем (около 10 %) циркулирует через фильтрующие элементы по замкнутому контуру. Благодаря расслоению потока образуется лишь небольшая зона смешивания, и, следовательно, небольшой подводимый объем. Весь подводимый объем можно также отвести через фильтрующие элементы (в этом случае без байпаса), вследствие чего образуется больше смеси «пиво-вода».

При фильтровании байпас регулируют на величину, соответствующую используемому вспомогательному фильтрующему материалу (как правило, около 10 %).

Отводимые промывные воды отделяются фильтрующими элементами в виде смеси «пиво-вода». При этом вода подается в фильтр снизу и сверху в определенном соотношении, что позволяет сохранять низкий уровень смешивания. Существует также возможность вытеснения фильтрата в виде нефилтруемого продукта обратно в буферный танк.

На приемочных испытаниях получены следующие характеристики: удельная производительность фильтра $6,1 \text{ гл/м}^2$ в час, ресурс — 10 ч (60 гл/м^2), перепад давлений — 3,0 бар, однако через 10 ч еще

не был полностью исчерпан запас производительности. Подаваемый объем по трубопроводу для фильтрата составил 70 % от вместимости корпуса фильтра (3,6 гл в пересчете на 11 % масс.), а по байпасному трубопроводу — 20 % от вместимости корпуса фильтра, то есть 1,1 гл в пересчете на 11 % масс. Количество отводимого продукта составило 120 % вместимости корпуса или 7,1 гл в пересчете на 11 % масс. Количество кизельгура для предварительной намывки фильтра — 1200 г/м^2 , текущее дозирование — 77 г/гл.

Пробы кизельгура, отобранные после фильтрования на свече сверху и снизу, не выявили никаких отличий по гранулометрическому составу. Таким образом, намывка кизельгура по всей длине свечи оказалась равномерным. В фильтрате дрожжей не содержалось.

10.5.2. К разделу 4.3.

Комбинированные способы осветления

Для дополнительного фильтрования после кизельгуровых фильтров или центрифуг для осветления до прозрачности с блеском в большинстве случаев применяют двухступенчатые системы, а именно:

- в качестве предварительного фильтра пластинчатой системы глубокого фильтрования или системы свечных фильтров глубокого фильтрования с размером пор около 3 мкм (фильтр изготавливают из полипропилена);
- в качестве дополнительного фильтра — полипропиленовые свечи глубокого фильтрования с размером пор 0,4–0,6 мкм, которые помимо дрожжей задерживают и большинство микроорганизмов;

- для стерильного пивного фильтрата после предварительных фильтров или непосредственно перед розливом используют мембранные свечи из поливинилиденфторида с размером пор 0,45 мкм.

Слой фильтра глубокого фильтрования представляют собой объемные системы каналов, одновременно обеспечивающие поверхностное и глубинное фильтрование, причем электрический заряд смолы позволяет также осуществлять адсорбционные процессы. Фильтрующий слой округлой формы диаметром 284 или 410 мм расположен в пластмассовом патроне, и несколько таких дисков группируются в один модуль.

Свечи глубокого фильтрования имеют несколько участков, в каждом из которых расположены зоны с уменьшающимся размером пор. Специальная обработка предотвращает отделение уже удержанных загрязнений.

Системы фильтров глубокого фильтрования в отношении изменения давления характеризуются практически линейным поведением, тогда как системы поверхностного фильтрования, как только их поверхность оказывается забитой, сразу блокируются.

Для эффективной мойки фильтра холодной, а затем горячей водой важно беспрепятственное прохождение через него воды, которую для этого подают через полипропиленовые свечи глубокой фильтрации с размером пор 1-2 мкм.

На примере установки с *кизельгуровым фильтром* и *двумя последовательно включенными свечными фильтрами* (фильтр грубой очистки с размером пор 3,0 мкм, дополнительный фильтр с размером 0,6 мкм) подачу на кизельгуровый фильтр следует отделить от свечных фильтров. Свечные фильтры, промытые

с помощью CO_2 и с предварительно намытым кизельгуром, медленно заполняют один за другим (оставление фильтров без напора не допускается из-за риска повторного инфицирования).

Кроме того, в начале фильтрования определяют перепад давлений между отдельными фильтрами, что позволяет впоследствии иметь возможность измерить прирост давления (в качестве критерия завершения фильтрования). В конце фильтрования свечные фильтры очищают с помощью CO_2 , а промывные воды кизельгурового фильтра вновь отделяют.

Микробиологическая эффективность такой фильтровальной установки очень высока, но при необходимости ее можно дополнительно повысить путем использования свечей с еще меньшим размером пор (менее 45 мкм). В данном случае затраты ниже, чем при традиционном и дополнительном фильтровании через фильтрующие слои.

Мойку проводят после того, как в системе достигается двойное значение перепада давлений относительно начала фильтрования: мойка холодной водой в противоток направлению фильтрования до тех пор, пока промывная вода не станет прозрачной на вид (в течение примерно 2 мин), мойка горячей водой температурой 70-80 °С (примерно 8 мин). После мойки горячую воду можно оставить на ночь в фильтре (на следующее утро снова производится обратная промывка горячей водой).

Последующая стерилизация занимает 20 мин (после тщательного удаления воздуха из системы) при минимальной температуре на выходе из фильтра 85 °С; ее проводят или проточно (и медленно), или циркуляционно через последовательно подсоединенные фильтры. Вместо

горячей воды можно использовать ост-рый пар с минимальной температурой 120 °С. В этом случае фильтры промыва-ют CO_2 , предварительно дозируют ки-зельгур и поддерживают давление около 2 бар. Фильтр можно также заполнить холодной стерильной водой, поддержи-вая давление около 2 бар. Операции мой-ки и стерилизации можно автоматизи-ровать.

Сочетание центрифуги для освет-ления до прозрачности с блеском и мем-бранного фильтра для тангенциально-поточного фильтрования. Центрифуга, подсоединенная после буферного танка, уменьшает содержание дрожжевых кле-ток в пиве примерно на 95 %. Кроме того, отделяются также более мелкие части-цы мути, благодаря чему сокращается время фильтрования на мембранном фильтре.

Система тангенциально-поточного фильтрования состоит из двух установок одинаковой конструкции с модулями из полых волокон, работающих поочередно. Предварительное осветление допускает незначительный перелив, вследствие чего установке обычно не требуется дополни-тельный охладитель. В процессе фильт-рования, управляемом автоматически, учитывается межмембранное давление, а также расход, накопленное количество фильтрата и заданный общий объем. Важно, чтобы фильтрование закончилось до закупорки мембраны. Оставшейся степени проницаемости достаточно, что-бы еще находящееся в модулях нефиль-трованное пиво продавливалось стати-чески с помощью CO_2 через мембрану со стороны фильтрата, а затем сторо-на фильтрата разгружается в танк для фильтрата. Благодаря этому существен-но снижаются потери пива. Своевремен-ное отключение позволяет также свести

к минимуму образование на мембране «корки» из дрожжей и других частиц мути, чему также способствует исполь-зование центрифуги для глубокого пред-варительного осветления.

10.5.3. К разделу 4.4. Способы замены кизельгурового фильтрования

Мембранное тангенциально-поточное фильтрование. Новая концепция установ-ки для тангенциально-поточного фильт-рования позволяет реализовать фильтро-вание пива без использования кизельгура при сопоставимых затратах.

Мембранные модули состоят из пол-ых волокон полиэфирсульфона с посто-янными гидрофильными свойствами. Длина модуля составляет 1 м, внутрен-ний диаметр полых волокон — 1,5 мм, размер пор — 0,5 мкм. Площадь поверх-ности модуля — 9,3 м². Принцип дей-ствия фильтра описан в разделе 4.4 — пиво подается через полые волокна под определенным межмембранным давле-нием, при этом часть пива проходит че-рез мембрану и осветляется. На поверх-ности мембраны образуется слой из частичек мути, который все больше за-трудняет проход пива через мембрану, следствием чего является повышение межмембранного давления с 0,3 до 0,5 бар, и примерно через 2 ч фильтрования не-обходимо провести обратную промывку фильтра слабым раствором едкого натра. Эта операция занимает в общей сложнос-ти 2 ч. Еще через 2 ч фильтрования меж-мембранное давление доходит до 0,7 бар, после чего вновь выполняют обратную промывку. При этом достичь первоначального давления на входе уже не уда-ется, и межмембранное давление посте-пенно возрастает за 5 циклов промывки

в целом с 0,8, 1,0, 1,3 до 1,5 бар. После этого требуется щелочная мойка и промывка перекисью водорода, после чего можно начинать новый цикл фильтрования продолжительностью 10-12 ч. Обратная промывка включает три операции:

- вытеснение пива в буферный танк для ретентата;
- вымывание мути с поверхности мембраны щелочной водой (доведенной с помощью NaOH до pH 12) вместе с использованным стабилизатором;
- контрольная промывка декарбонизированной водой.

Чтобы во время фильтрования воспрепятствовать образованию корки из частиц мути, пиво следует подавать на мембрану с более высокой скоростью, чем скорость прохождения через мембрану (примерно в 30 раз выше), а для этого требуется задать соответствующую производительность насоса. Так как пиво при этом нагревается, то в циркуляционном контуре предусмотрено охлаждающее устройство, поддерживающее температуру пива около 0 °С.

Практический опыт свидетельствует, что, например, производительность системы из 12 модулей (с общей фильтрующей поверхностью 111,6 м²) может быть 120 гл/ч. Ресурс при 5 промежуточных промывках с интервалом в 2 ч составляет в общей сложности 12 ч, а чистое время (за вычетом 5 промывок, около 90 мин) — примерно 10,5 ч. Интервал между двумя промывками зависит от свойств пива, содержания в нем мути, коллоидов и т. д. Для хорошо осветленного пива промежуточная промывка необходима лишь через 4-5 ч, так что ресурс в этом случае будет больше.

Такую установку можно эксплуатировать в автоматическом режиме. Количество

подводимого и отводимого продукта можно охарактеризовать как незначительное; в настоящее время оно служит для точного регулирования желаемой концентрации начального сусла. При этом следует учитывать, что стабилизация пива должна производиться или с помощью стабилизирующих веществ, или специальными фильтрами (см. раздел 7.6.4.1).

Мембранное тангенциально-поточное фильтрование и вибрационно-мембранное фильтрование (см. также разделы 6.1.2.1 и 6.2.5.2) особенно хорошо подходят для получения молодого дрожжевого пива. В «классическом» тангенциально-поточном фильтровании для уменьшения слоя, препятствующего фильтрованию, необходима повышенная скорость прохождения подводящей дрожжевой суспензии. Требуемая высокая производительность насоса является не только фактором увеличения энергозатрат, но и вызывает нагревание дрожжевой суспензии, которую приходится охлаждать. При вибрационно-мембранном фильтровании (ВМФ) мембранный блок, состоящий из нескольких фильтрующих элементов, совершает колебания с частотой 50 Гц и амплитудой на внешнем диаметре около 20 мм, которые противодействуют образованию покровного слоя. Тем самым можно регулировать перепад давлений, необходимый для фильтрования, независимо от скорости потока. У мембран из политетрафторэтилена размер пор составляет 0,45 мкм.

Скорость фильтрования в зависимости от температуры составляет 18-22 л/м² в час, межмембранный перепад давления — около 0,5-0,8 бар, энергопотребление — 0,6 кВт/гл, что в большинстве случаев позволяет отказаться от охлаждения полученного пива или избыточных

дрожжей противотоком. Температура фильтруемых дрожжей находится на уровне 5-6 °С во избежание их нежелательных изменений в сборнике для дрожжей. Естественное содержание CO₂ избыточных дрожжей можно поддерживать в установке для готового пива. Концентрация дрожжей повышается примерно с 10 до 18 % — более высокие концентрации могут при известных условиях негативно сказаться на свойствах готового пива.

Полученное молодое пиво характеризуется увеличением концентрации начального суслу примерно на 1 %, повышенной степенью сбраживания по сравнению с нормальным пивом, повышенным значением pH (примерно на 0,5), несколько более низким содержанием горьких веществ, но повышенным содержанием высокомолекулярных жирных кислот (примерно на 50 %). Цветность пива не меняется. Различия между пивом, полученным после фильтрования со свежесобранными дрожжами и с дрожжами, хранившимися на холоде в течение 3 сут, хотя и наблюдаются, но не сказываются (при их внесении от 0,7 до 1,5 %, см. раздел 6.1.2.1) ни на одном из аналитических параметров пива. Во вкусовом отношении свежее и созревшее пиво дефектов вкуса не имеют. Свойства пивной пены не изменились даже через 3 и 6 мес. хранения продукта. Такие положительные результаты частично можно объяснить новой системой фильтрования, а частично — хранением дрожжей при температуре 5-6 °С не более 3 сут, а также их внесением в начальное сусло.

Современные системы фильтрования. Собственно кизельгуровый фильтр претерпел существенные изменения, которые положительно сказались на равномерности

фильтрования (намыва) и на микробиологических показателях. Ресурс фильтров увеличился, а расход кизельгура снизился. Проблемой по-прежнему продолжает оставаться пыление при работе с кизельгуром, и с ней борются путем использования автомобилей-цистерн, силосов для кизельгура и отдельных помещений для внесения партий кизельгура в декарбонизированную воду перед подачей в дозирующие емкости. На небольших фильтровальных установках благодаря точному соблюдению технологии риск пыления незначителен. На стадии обработки кизельгура можно предпринять меры для заметного снижения пылеобразования. За исключением восстановления кизельгура при температуре 700-780 °С (см. раздел 4.2.2.1) многие многообещающие технологии не смогли пройти проверку практикой, так как они предусматривали проведение регенерации на самом пивоваренном предприятии, что требовало наличия производственных площадей.

В дополнительных фильтрах все шире применяются современные системы фильтров глубокого фильтрования (в большинстве случаев в виде свечных фильтров с различным размером пор), включая тонкое фильтрование или трехступенчатые установки для стерилизации пива, которые более экономичны, чем традиционные пластинчатые фильтрами или фильтр-прессы.

В некоторых случаях кизельгуровый фильтр заменяют микрофильтром для тангенциально-поточного фильтрования (с предварительно подсоединенной центрифугой или без нее) после достижения производительности 1 гл/м² в час, однако проблема стабилизации пива еще нуждается в дополнительных исследованиях.

10.6. К главе 5: Розлив пива

10.6.1. К разделу 5.2. Розлив в бочки и кеги

Разработаны самоохлаждаемые кеги (см. раздел 5.2.5.1), пиво в которых в течение 30-45 мин без дополнительного охлаждения достигает оптимальной температуры потребления (7-9 °С). Существуют различные размеры таких кегов — на 5, 8, 12,5 15 и 20 л.

Такая емкость представляет собой контейнер из нержавеющей стали, в котором находится охлаждаемое пиво. Вокруг этого контейнера в промежуточной оболочке находится абсорбирующее в условиях вакуума нетканое полотно с водой. В пространстве между средней оболочкой и внешним корпусом находится слой цеолита под вакуумом. Полость испарителя отделяется от зоны с цеолитом разделительной пластиной клапаном.

Охлаждение такого кега основано на технологии вакуумной абсорбции «цеолит-вода». В сухом состоянии цеолит интенсивно впитывает большое количество воды. Под вакуумом этот процесс протекает настолько быстро и эффективно, что вода в промежуточной оболочке замерзает. Это происходит после открытия запорного клапана, в результате чего водяной пар от поверхности воды направляется к цеолиту и им поглощается. Возникающее при этом охлаждение вследствие испарения приводит к замерзанию воды и, соответственно, к охлаждению пива в кеге. Температура пива 7-9 °С сохраняется при этом в течение 12-24 ч.

Пустой кег восстанавливают в обратной последовательности — при нагревании

бочки цеолит подсушивается и его можно снова использовать для охлаждения, причем этот цикл можно повторять до 1000 раз.

10.6.2. К разделу 5.3. Розлив в бутылки и банки

С 1990-х гг. для розлива минеральной воды и других безалкогольных напитков все шире стали применяться пластиковые бутылки (см. раздел 5.3.1.1), особенно ПЭТ-бутылки, в которые стали осуществлять и розлив пива (несмотря на серьезные опасения относительно потерь CO₂ и проницаемости их для кислорода в период хранения продукта).

ПЭТ (полиэтилентерефталат) получают в кристаллической форме из этиленгликоля и терефталевой кислоты. Заготовки (преформы) изготавливают методом литья под давлением, а затем на предприятии по производству бутылок (в большинстве случаев непосредственно по месту розлива) их нагревают до 120 °С и на установке для выдувания бутылок формируют собственно бутылки. При этом в зависимости от конструкции преформы можно изготавливать бутылки различной формы и размера, а благодаря использованию красителей — и цвета. Основное преимущество ПЭТ-бутылок состоит в отсутствии боя и в небольшой массе — в 10 раз меньшей, чем у поллитровой стеклянной бутылки, весящей 380 г при одинаковой вместимости. Помимо удобства транспортировки, такая тара оказалась весьма привлекательной и для потребителей.

Недостатками ПЭТ-бутылок являются неудовлетворительная термостойкость вследствие малой толщины материала, риски усадки и деформирования, а также плохая смачиваемость материала,

что затрудняет мойку. При многократном использовании ПЭТ-бутылка впитывает запахи от содержащихся в ней жидкости. При обычной мойке вещества, обуславливающие посторонний запах и диффундированные в стенку бутылки, невозможно удалить полностью, и посторонние запахи и привкусы передается продукту. В таком случае помимо просвечивания бутылок необходим контроль запаха с помощью так называемого «электронного носа» — современного аналитического оборудования, основанного на принципах газохроматографии. В этом отношении ПЭН (полиэтиленнафталат) менее восприимчив к запахам, чем ПЭТ, однако в пивоварении ПЭН еще не нашел широкого применения.

Для производства ПЭТ-бутылок расход энергии довольно велик — например, машина для выдувания 20000 бут./ч потребляет 230 кВт электроэнергии, из которых только на нагревание приходится 85 %. Энергия расходуется также на создание давления (40 бар), необходимого для выдувания бутылки. При этой производительности требуется объем воздуха 1900 м³/ч, так что общая мощность воздушного компрессора составляет 350 кВт. Некоторую экономию тепловой энергии можно получить, например, при одноступенчатом изготовлении ПЭТ-бутылок (литья под давлением с последующим выдуванием бутылок) — в этом случае теплота, образующаяся при литье под давлением, используется и в процессе выдувания.

Тем не менее главным недостатком ПЭТ-бутылок является их проницаемость для кислорода, которая при значении 40 мкг/бут. в сут за полгода при пересчете на поллитровую бутылку может составить около 14 мг/л. У существенно более дорогой ПЭН-бутылки

проницаемость для кислорода намного меньше (35 % по сравнению с ПЭТ). Благодаря использованию многослойных бутылок (например, с использованием в качестве барьерного материала в среднем слое полиамидов или этиленвинилового спирта), свойства ПЭТ можно довести до показателей, сравнимых с ПЭН, однако этого недостаточно. Такие многослойные бутылки, как и «декоративные» бутылки (в которых материал с барьерными свойствами подмешивается к ПЭТ при изготовлении) плохо поддаются утилизации.

Несколько лучшими свойствами характеризуется пластиковая бутылка с покрытием, нанесенным под вакуумом (SiO₂ или (СН₂)_n наносится на стенку бутылки тонким слоем). В зависимости от способа нанесения покрытия проницаемость для кислорода для бутылки емкостью 0,5 л можно снизить до 1 мг/л в год, причем покрытие может наноситься как снаружи, так и изнутри. Преимущество внутреннего покрытия состоит в том, что барьерный слой не подвергается механическим воздействиям при транспортировке бутылки, а продукт оказывается защищенным от воздействий через стенку бутылки. Плазменное нанесение покрытий реализуется физически или химически (импульсным или непрерывным способом). В частности, к машине для выдувания бутылок может быть подсоединен агрегат для плазменного напыления покрытия.

Достаточно эффективным средством являются так называемые «поглотители кислорода», использование которых не позволяет, однако отказаться от использования в бутылке материалов с барьерными свойствами. Поглощение кислорода достигается в этом случае или за счет окисления железа (на низкой стадии

окисления), или окислением полимеров (например, полиолефинов). Следует отметить, что для действия таких поглотителей кислорода необходимо определенное увлажнение и, тем самым, некоторое время для активизации. При этом важно, чтобы поглотитель активизировался быстрее, еще до начала процесса окисления продукта в бутылке.

Кроме поглощения кислорода из воздуха через стенку бутылки, определенную роль может играть и миграция в пиво кислорода, растворенного в полимерном материале. Для пол-литровых ПЭТ- и ПЭН-бутылок такая миграция за полгода может составить дополнительно 0,3-0,4 мг/л.

Не менее важным фактором, чем поглощение кислорода, является проницаемость полимерных материалов относительно CO_2 . Так, например, пиво в однослойной ПЭТ-бутылке в условиях испытаний (температура 23 °С в течение 6 мес.) потеряло приблизительно 33 % от первоначального уровня CO_2 . По сравнению с этим содержание CO_2 в пиве из стеклянной бутылки со стандартной кронен-пробкой уменьшилось на 3,2 %, а с кронен-пробкой с барьерными свойствами — на 0,9 %. ПЭТ-бутылка без внутреннего покрытия со стандартным навинчивающимся колпачком даёт потерю CO_2 в 8,7 %. Многослойные ПЭТ-бутылки, а также бутылки с поглотителями кислорода хотя и обеспечивают хорошие барьерные свойства относительно кислорода, в зависимости от конструкции бутылки могут вызывать высокие потери CO_2 . В данном случае следует запрашивать у производителей полимерных материалов сертификат на результаты испытаний.

ПЭТ-бутылки, как правило, укупоривают одно- или многокомпонентными

навинчивающимися полимерными колпачками. Даже по сравнению с кронен-пробками со стандартной компаундной прокладкой (поглощение O_2 в пол-литровой бутылке — до 1,5 мг/л за полгода) проницаемость для кислорода у них в 2-3 раза выше. Для ПЭТ-бутылок обязательным является включение барьера для кислорода, который в данных условиях уменьшает проницаемость для кислорода на 0,2-0,3 мг/л, но активный поглотитель кислорода еще лучше. При этом имеет значение не только сам материал колпачка для укупорки, но и тот факт, что при надевании колпачка на горлышко бутылки в цилиндрической части еще содержится некоторый объем воздуха. Таким образом, приходится использовать предварительное наложение прокладки, которая устанавливается после вспенивания пива в результате впрыска под высоким давлением. Затем следует провести опрыскивание резьбы и собственно надевание навинчивающегося колпачка. Существуют также навинчивающиеся колпачки в сборе с предварительной прокладкой — навинчивающийся колпачок устанавливается вместе с плоской уплотнительной прокладкой, производится опрыскивание резьбы, а затем уже навинчивается колпачок.

10.6.3. К разделу 5.3.3. Розлив в бутылки

Растущее многообразие дозируемых напитков и емкостей привело к созданию устройств электропневматической подачи, благодаря которым облегчается переход от бутылок одной формы или размера к другим. Электронное управление рабочим цилиндром приводит в действие иглу для впрыска газа, так что его подача в бутылку может осуществляться

без механической регулировки. Сигналом окончания розлива служит, как обычно, прекращение оттока газа в кольцевой резервуар. Благодаря такой конструкции системы розлива все остальные механические элементы управления на внешней поверхности установки розлива становятся ненужными (за исключением контактного ролика для прижима бутылки к наполняющему клапану), и в результате облегчается мойка оборудования. Это позволяет также отказаться от ручной переналадки механических переключателей. Создание предварительного разрежения осуществляется вакуумным клапаном с программным управлением, после чего с помощью промывки CO_2 давление в бутылке доводится почти до атмосферного. В ходе второй фазы создания разрежения доля кислорода, остающегося на данный момент в бутылке, продолжает снижаться, а благодаря последующему предварительному повышению давления с помощью CO_2 иглой для газа содержание CO_2 в бутылке достигает примерно 99 %. Когда давление сравняется с давлением в кольцевом резервуаре, срабатывает шток клапана, и пиво направляется в бутылку. Как только уровень пива достигает газоотводной трубки, подача газа прекращается. По электронному импульсу закрывается шток клапана, и процесс розлива завершается. Другой электропневматический импульс открывает разгрузочный клапан, и давление в верхней части бутылки падает. Уровень заполнения можно определить не только по газоотводной трубке, но и с помощью интегрированного в газоотводную трубку зонда, который после достижения уровня заполнения передает информацию в систему управления. При этом может быть приведен в действие предварительно

запрограммированный таймер, определяющий время долива. Эта операция может быть заранее запрограммирована, благодаря чему при переходе на другой тип бутылок отпадает необходимость в замене газоотводных трубок. В случае существенного расхождения в уровне наполнения различных бутылок или банок зонд можно отрегулировать снаружи вручную.

Подобные установки розлива можно эксплуатировать как однокамерные или многокамерные системы с возможностью поставки моделей с наливной трубкой и без нее (см. раздел 5.3.3.9).

Перед розливом в новые ПЭТ-бутылки или бутылки из других полимерных материалов производится их мойка (аналогично банкам). Мойку проводят чистой в микробиологическом отношении водой в так называемых «ополаскивателях», где из бутылок удаляются твердые загрязнения и т. п. В используемой для этого холодной воде обычно содержится 8-10 мг кислорода/л, и с каждой каплей оставшейся после ополаскивания воды в пиво дополнительно вносится кислород. Именно поэтому на следующей технологической операции бутылки продувают стерильным воздухом или азотом.

Учитывая небольшую толщину стенки, в ПЭТ-бутылках невозможно создать предварительное разрежение, так как при разряжении 200-300 мбар под действием наружного давления они могут треснуть или лопнуть. Для обеспечения бескислородного розлива в процессе розлива после подъема бутылки под наполнительный клапан еще не прижатую бутылку продувают газом через газоотводную трубку, после чего бутылка прижимается к клапану и заполняется CO_2 . В однокамерных установках розлива

отводимый газ снова возвращается в кольцевой резервуар, а в многокамерных — в отдельный отводной канал для газа, благодаря чему в кольцевом резервуаре сохраняется практически чистая атмосфера CO_2 . Для такой технологии розлива хорошо подходит система розлива с длинными наливными трубками, так как через них можно осуществлять промывку CO_2 . Недостатком здесь является необходимость замены наливных трубок при работе с разными типами бутылок. В некоторых системах розлив можно осуществлять как в ПЭТ-, так и в стеклянные бутылки, причем для первых применяют промывку CO_2 , а для последних — создание разрежения и наполнение CO_2 .

Еще одной проблемой при розливе в ПЭТ-бутылки является их низкая прочность на осевое сжатие, что характерно для многих бутылок из полимерных материалов. При работе с такими бутылками под наливным клапаном и укупорочным блоком необходимо применять соразмерные силы, в связи с чем ПЭТ-бутылки прижимаются к патрону установки розлива не подъемной тарелкой, а с помощью кольца на горловине. В целях бережного обращения с бутылками звездочки оснащены грейферами с системой захвата из полимерного материала или резины.

В системах *розлива по объему* применяют две разные технологии.

- Системы розлива с расходомером предусматривают применение магнитно-индуктивного расходомера, который задает расход еще до розлива и управляет открытием и закрытием наливного клапана. Независимо от допусков на размеры бутылки определяется объем нетто и производится розлив.
- В системе розлива для каждой точки розлива предусмотрена отдельная

дозировочная емкость, в которой производится предварительное дозирование продукта, который подается затем в заполняемую бутылку. Первоначально эта система разрабатывалась для розлива в банки, так как с ее помощью достигается более высокая точность, чем в в системе наполнения по уровню с использованием газоотводных трубок. С учетом большего сечения даже в несколько зауженной верхней части банки диапазон отклонений здесь неизбежно больше, чем при розливе по объему; кроме того, у самих банок допуски по диаметру больше. Обусловленный вращением наклонный уровень жидкости внутри банки при розливе затрудняет точное определение окончания фазы розлива и степени поглощения кислорода (см. раздел 5.3.6.6). Розлив из дозирующей камеры не зависит от возможного пенообразования. При смене размера банок достаточно выполнить соответствующую регулировку системы управления установки розлива (в механической системе розлива потребовалась бы замена газоотводных трубок с последующей дополнительной стерилизацией).

Камера перепада давления позволяет, несмотря на низкую прочность на осевое сжатие, прижимать к наливному органу легкие тонкие банки и ПЭТ-бутылки. При розливе избыточное давление в банке отводится в камеру перепада давления, а на банку действует только осевая нагрузка, которая уравновешивается внутренним давлением. Благодаря тому что количество продукта определяется заранее, отпадает необходимость в медленной фазе розлива, что позволяет достигать высокой производительности (до 120000 банок ёмкостью 0,33 л).

Наполнение дозирующей емкости в этой системе проводится из кольцевого резервуара, а управление уровнем осуществляется ультразвуковым зондом.

Системы розлива по объему рекомендуется применять только в случае одинаковых пластиковых бутылок или банок, так как такие системы не позволяют быстро и без потерь времени производить замену бутылок одной формы и размера на другие. При наличии запаса

NRW-бутылок и бутылок типа «Виши» (см. раздел 5.3.1.1) различных изготовителей даже при правильно выполненном розливе уровень их наполнения может оказаться разным, что неприглядно сказывается на внешнем виде наполненных бутылок. В этом случае рекомендуется применять установки розлива с регулировкой наполнения при помощи воздухоотводных трубок или зондов. При контроле минимального уровня наполнения могут оказаться неизбежными определенные потери пива.

Иная концепция положена в основу установки розлива по объемному принципу, управляемой компьютером. В ней для розлива напитков в пластиковые бутылки используется два мембранных пневматических цилиндра — для подъема бутылки и прижима ее к наливному клапану, и для герметизации венчика горловины бутылки. В этом случае не нужны отдельные подъемные узлы. На наливном клапане смонтировано несложное устройство для захвата бутылки за кольцо на горловине и прижима ее к клапану. При этом давление прижима регулируется автоматически в зависимости от давления подпора, что важно не только для обеспечения целостности пластиковой бутылки, но и для увеличения срока эксплуатации системы герметизации.

Переход на бутылки другого размера и формы, а также связанное с этим изменение объема наполнения осуществляется простым нажатием кнопки. Регулируемый сброс давления, сопровождающийся низким пенообразованием, позволяет проводить розлив напитков с высоким содержанием CO_2 (например, пшеничного пива) при температуре розлива до 22 °С. Номинальная производительность такой установки розлива составляет 70000 бут./ч.

Для проведения *CIP*-мойки герметизацию органов розлива обеспечивает «ополаскивающая пластина», армированная резиной. При этом действует та же система регулировки давления, что и во время розлива: давление прижима регулируется давлением разливаемого продукта (в данном случае моющих и дезинфицирующих растворов, а также промывной воды).

10.7. К главе 7: Готовое ПИВО

10.7.1. К разделу 7.5.2.

Технологические факторы пенообразования

Новые сорта ячменя, начавшие применяться 10-15 лет назад, характеризуются очень высоким протеолитическим растворением со степенью растворения белков 40-45 %, что привело к ухудшению пенообразующих свойств пива. Этому можно было бы противодействовать за счет снижения влажности проращиваемого материала, но только в том случае, если бы значение числа Гартонга (VZ 45 °С) изменялось бы в тех же пределах, что

и степень растворения белка. Это характерно для сортов *Alexis* и *Barke* (в большинстве случаев для ограничения степени растворения белка на уровне 39-41 % было достаточно влажности 42-43 %). Дополнительной мерой может являться небольшое повышение температуры проращивания — например, с 15 до 17 °С. У хорошо и равномерно прорастающего ячменя допустимо сокращение общей продолжительности замачивания и проращивания (например, с 7 до 6 сут); дальнейшее сокращение продолжительности замачивания и проращивания, особенно для ячменя, собранного во влажные и холодные годы (с более длительным состоянием покоя при проращивании), может привести к неоднородному цитолитическому растворению и последующим проблемам при фильтровании суслу и пива. У сортов ячменя с более широким разбросом между степенью растворения белка и значением VZ 45 °С последнее в случае проведения указанных мероприятий может оказаться ниже 36-38 %. Очень сильное цитолитическое растворение (значение по фриабилитметру более 88 %, показатели по калькофлеру «М» > 95 % и «Н» > 85 %) не вызывает ухудшения пены и является гарантией того, что можно применять способы затиранья при высоких температурах (62-65 °С).

При кипячении богатого полифенолами суслу, полученного без доступа воздуха, происходит сильное осаждение высокомолекулярных белковых веществ. Прежде всего это наблюдается в случае, когда сусло в напорном конусе внутреннего кипятильника или на дроссельном клапане внешнего кипятильника подвергается непосредственному воздействию температуры теплоносителя. Кроме того, из-за пульсации во внутреннем

кипятильнике при предварительном нагревании сусло может неравномерно нагреваться, из-за чего происходит осаждение коагулируемого белка. Зачастую фаза нагревания продолжается слишком долго, и зоны, нагретые первыми, подвергаются воздействию повышенных температур намного дольше с дальнейшим усилением осаждения белков. В этом случае рекомендуется нагревать сусло при перекачивании в котел почти до температуры кипячения или направить поток суслу на внутренний кипятильник насосом (см. раздел 10.3). Температура греющего пара должна быть всего на 10-15 °С выше температуры суслу, для чего требуется соответственно большая поверхность нагрева. Обычная продолжительность кипячения (60 мин для внешних и 75 мин для внутренних кипятильников) очень велика и приводит к значительной коагуляции белка. Сократить продолжительность кипячения можно только в том случае, если замедлить последующее образование свободного ДМС в танке для горячего суслу или путем снижения температуры суслу при перекачивании до 85-90 °С, или нейтрализовать уже образованный ДМС в вакуумном каскаде между вирпулом и охладителем суслу. Продолжительность кипячения можно задать по конечному содержанию коагулируемого азота (22-28 мг/л), для чего можно использовать различные способы тепловой выдержки или кипячения суслу в тонком слое с последующим блоком вакуумирования и деароматизации (см. раздел 10.3.1).

Брожение, особенно в крупных танках, может негативно отразиться на физиологии дрожжей. В конце брожения дрожжи собирают под давлением столба жидкости, причем в большинстве случаев и под дополнительным давлением

шпунтования, а растворенные CO_2 и спирт представляют для дрожжей яд, что особенно проявляется у варок с повышенной концентрацией начального сусла. Здесь важно как можно раньше собрать дрожжи, что возможно лишь при перекачке из бродильного танка в танк дображивания. Центрифуга позволяет (прежде всего при использовании пылевидных дрожжей) осуществлять сбор дрожжей незадолго до или при достижении КСС. В большинстве случаев дрожжи собирают «тёплыми», то есть при температуре брожения, причем температура дрожжей обычно на несколько градусов выше, чем у пива, так как они покрывают охлаждающие поверхности. С учетом этого важно по возможности быстро охладить дрожжи до 2-3 °С, что осуществляют с помощью классического трубчатого, а также пластинчатого охладителей (в последнем дрожжи не должны подвергаться действию усилий сдвига). Затем дрожжи хранят в емкости, оборудованной системой охлаждения (в стенках или в конусной части) и месильным органом, который, медленно вращаясь, обеспечивает достижение равномерной низкой температуры. Для быстрого удаления CO_2 дрожжи целесообразно направить сначала в декомпрессионную ёмкость (с медленно работающей мешалкой), а затем на дрожжевое сито (для удаления CO_2 и загрязнений), а необходимая низкая температура достигается затем в охладителе. В случае повышенного содержания спирта целесообразно при процеживании добавить в дрожжи примерно 20 % воды. Дрожжи не следует хранить более 3 сут. Пригодность центрифуг для молодого пива необходимо проверить путем измерения температурных условий (см. раздел 10.4.1), а также оценки жизнеспособности дрожжей.

Жизнеспособность дрожжей часто ослабевает уже при их разведении, в частности, вследствие слишком больших интервалов между внесением семенных дрожжей доливом (экстрактивность падает ниже 6-7 %), избытка субстрата в условиях ограниченной аэрации и сильного температурного шока, что обуславливает рост содержания протеазы А, что в конце брожения и в ходе созревания неблагоприятно сказывается на расщеплении белков, стимулирующих пенообразование. Контроль состояния дрожжей производят с помощью метиленового синего и фиолетового красителей или (при наличии аппаратуры) путем измерения межклеточного значения рН (*ICP*), которое должно составлять немногим более 6,2 (см. также раздел 10.4.4).

В ходе созревания (лучше всего каждые 2 сут) и холодной выдержки (в зависимости от содержания дрожжей — каждые 3-7 сут) необходимо отмучивать дрожжевую отстой. Повышение значения рН или увеличение содержания свободного α -аминного азота после достижения КСС свидетельствуют о плохом состоянии дрожжей. При отсутствии свежей чистой культуры дрожжей сбор дрожжей следует «реактивировать», то есть в ходе разведения в течение 2 сут довести чистую культуру дрожжей до необходимого количества дрожжей в стадии завитков.

Недостаточная жизнеспособность дрожжей приводит не только к ухудшению свойств пены, но и ухудшению вкуса и горечи пива, а также его фильтруемости.

Неблагоприятное действие оказывают также поверхностно-активные дезинфицирующие средства, что случается, если бродильный танк или танк для дображивания после проведения дезинфекции

недостаточно хорошо промывается свежей водой. Поверхностное натяжение пива (41-45 мН/м) в результате может оказаться ниже критического значения (40 мН/м). Поверхностное натяжение воды составляет 72,3 мН/м, и во избежание вредного воздействия на пивную пену для остатков адгезионной (поверхностной) влаги оно не должно быть ниже 62 мН/м. При мойке емкостей варочного цеха (особенно кипяильника суслотварочного котла) следует тщательно контролировать последующую операцию ополаскивания, рассчитывая ее с некоторым запасом. В процессе мойки бутылок наряду с тензидами применяют также антивспениватели, в связи с чем необходим регулярный контроль вымытых бутылок на наличие остатков моющих средств или проверка поверхностного натяжения. Новые ПЭТ-бутылки имеют нейтральные характеристики; но уже после однократной мойки поверхностное натяжение в них снижается намного сильнее, чем у стеклянных бутылок.

10.7.2. К разделу 7.6.4.

Стабилизация пива

На образование коллоидного помутнения влияет феруловая кислота, которая наряду с другими полифенолами обладает синергическим эффектом. С другой стороны, феруловая кислота обладает также явными редуцирующими свойствами, влияя тем самым на стабилизацию пива. Стабилизация пива с помощью ПВПП лишь незначительно изменяет содержание феруловой кислоты.

В образовании мути участвуют также флаван-3-олы, катехин и эпикатехин, а также процианидин В3 и продельфинидин В3, причем по мере ее образования их содержание уменьшается. Чем

больше этих полифенолов присутствует в пиве, тем меньше его коллоидная стойкость. При этом важно и содержание растворенного в пиве кислорода, чему могут способствовать ионы меди (в отличие от ионов железа).

Стабилизация пива с помощью ПВПП при дозировке 10 г/гл снижает содержание процианидинов и катехина в среднем на 15-20 %, при дозировке 30 г/гл — примерно на 35 %, а при предельно допустимой дозировке 50 г/гл — примерно на 55 %.

Разработано новое стабилизирующее средство на основе полисахарида агарозы, состоящего из остатков дисахарида галактозы и 3,6-ангидрогалактозы. Этот материал представляет собой нерастворимый шарообразный полимер с поперечной шивкой и размером частиц от 100 до 300 мкм. Почти во всем диапазоне pH ионообменные группы, связанные эфирными связями с арабинозной матрицей, характеризуются высокой связующей способностью относительно белковых молекул. Этот белок адсорбирует также полифенолы, причем связь с адсорбирующим гелем осуществляется через ОН-группы полифенолов. Противостоящим ионом выступает ион хлорида. Регенерация ионообменника производится на первом этапе с помощью 2 М-раствора поваренной соли, а на втором этапе — 1 М-раствором едкого натра. Контроль осуществляют путем измерения электропроводности. Стерилизацию проводят горячей водой температурой до 120 °С. Как правило, после 500 циклов регенерации требуется замена стабилизатора. В целях микробиологической безопасности этот новый адсорбирующий гель поставляется в 20 %-ном растворе этилового спирта, и перед использованием этанол необходимо удалить.

Адсорбирующий гель загружают в отдельные камеры слоем высотой 11-15 см. Теоретически его требуется 100 мл/гл пива, и, следовательно, для суточной партии в 6500 гл требуется 650 л этого геля. Расход пива подбирают так, чтобы время контакта с гелем составляло 30-60 с. Максимальный перепад давлений не должен превышать 4 бар. Во избежание быстрого забивания фильтра следует использовать только предварительно фильтрованное пиво.

В начале адсорбция белковых и дубильных веществ слоем адсорбирующего геля очень велика, и к концу партии она постепенно снижается. Для достижения равномерной стабилизации пива его следует направлять по байпасу через стабилизирующий фильтр в меньшем количестве пропорционально уменьшению стабилизирующего действия адсорбента, возвращая после фильтра в поток стабилизированного пива. В конце весь поток пива необходимо пропустить через гомогенизирующую колонну.

Смешивание стабилизированного и нестабилизированного пива проще всего производить в зависимости от содержания таннинов. Если, например, их содержание необходимо уменьшить примерно на 50 %, то содержание антоцианогенов уменьшается на 30 %, а общее содержание полифенолов — на 20 %, но при этом содержание полифенолов, особенно активно влияющих на образование мути (процианидина В3 и продельфинидина В3) снижается примерно на 40 %. Содержание катехина и эпикатехина изменяется незначительно. Содержание высокомолекулярных белковых веществ при помощи азота, осаждаемого $MgSO_4$, снижается всего на 10-12 %, что подтверждается алкогольным тестом Шапона. Тем самым стабилизирующее действие

проявляется в основном за счет снижения содержания полифенолов. Данное средство не ухудшает вкусовых характеристик пива и не оказывает отрицательного воздействия на стабильность вкуса и пену. Его недостаток заключается в том, что для каждого сорта пива должна быть создана своя градуировочная кривая, с которой необходимо сравнивать полученные при стабилизации результаты.

Под влиянием тепла и света из молекулярного кислорода образуется гидроксильный радикал с высокой реакционной способностью, который может вступать в неспецифическую реакцию с содержащимися в пиве веществами. Методами электронно-парамагнитной резонансной (ЭПР) спектроскопии можно определить эндогенную антиокислительную активность пива, которая отражается в так называемой «лаг-фазе», длящейся от нуля до 130 мин. Между лаг-фазой свежего пива, его вкусовой стойкостью и увеличением содержания в пиве веществ старения, определяемых методом газовой хроматографии, существует высокая корреляция. Пиво с хорошей вкусовой стойкостью характеризуется лаг-фазой более 80 мин.

Продолжительность лаг-фазы четко определяется содержанием в пиве SO_2 , которое может колебаться от 0 до 10 мг/л (см. разделы 3.2.4.2 и 3.2.6.7) с предельно допустимым значением в 10 мг/л. Пиво верхового брожения (например, пшеничное) не содержит SO_2 и не имеет лаг-фазы. У безалкогольного пива содержание SO_2 зависит от способа приготовления: в пиве, полученном методом прерывания брожения, SO_2 еще не мог образоваться, а в других продуктах, полученных методом снижения содержания спирта, содержится определенная доля первоначально образовавшегося

SO₂ (прежде всего из-за смешивания с нормальным пивом, см. раздел 7.10.5.6).

Значение содержания SO₂ для лаг-фазы и вкусовой стойкости пива привело к изменению технологии брожения. Прежде благодаря интенсивному (иногда многоступенчатому) аэрированию при внесении дрожжей и доливе семенных дрожжей стремились добиться их интенсивного размножения и активного брожения, однако такое брожение из-за метаболизма, описанного в разделе 3.2.4.2, приводило к низкому содержанию SO₂. Таким образом, в настоящее время аэрирование при внесении дрожжей ограничивается необходимой нормой (около 8 мг/л), но это означает, что введенные позже, то есть долитые варки, частично не следует аэрировать. Схема аэрирования зависит от количества доливаемых варок и от интервалов между ними (см. раздел 10.4.1). При введении ассимилированных дрожжей и обычном при этом доливе через определенные интервалы времени содержание SO₂ оказывается низким. В данном случае хорошо зарекомендовало себя на практике добавление к ассимилированным дрожжам 2-4-кратного количества однократно собранных дрожжей и проведение упомянутой выше схемы аэрирования. При осуществлении этих мер нельзя допустить замедления брожения и созревания, а тем более нарушения жизнеспособности дрожжей. Вследствие замедленного размножения дрожжей в пиве сохраняется несколько более высокое содержание ассимилированного азота, способствующего образованию альдегидов Штрекера.

На лаг-фазу можно также повлиять при помощи мер по приготовлению сусла. Путем дробления солода в атмосфере инертного газа (очень важного, прежде

всего, для порошкового помола из-за большей площади поверхности частиц солода и повышения температуры до 55 °С), применения деаэрированной пивоваренной воды, затирания без доступа воздуха при повышенных температурах (более 62 °С) и благодаря низкому значению рН (5,2-5,4) в сусло переходит больше редуктонов. Одновременно происходит смягчение действия оксидаз (особенно липоксигеназ). Применение молочной кислоты, полученной микробиологическим путем, оказалось эффективнее, чем полученной техническим способом. Приготовление сусла без доступа воздуха при последующих операциях, низкая термическая нагрузка при кипячении сусла и его обработке, а также эффективное выпаривание ароматических веществ хмеля (при необходимости — путем отгонки или вакуумного выпаривания) увеличивают продолжительность лаг-фазы. Вместе с тем из-за этих мероприятий замедляется рост радикалов после измерения лаг-фазы, которую измеряют через 120 мин (некоторые исследователи измеряют её через 150 мин, обозначая ее показателем «Т150»). Следствием поглощения кислорода после брожения (см. раздел 5.3.6) является серьезное ухудшение лаг-фазы. При хранении пива после розлива лаг-фаза уменьшается, вследствие чего в качестве аналитического показателя можно применять только лаг-фазу пива сразу же после розлива. Вместе с тем показатель сокращения лаг-фазы пива (например, при проведении ускоренного теста или при испытаниях срока годности) может коррелировать с развитием вкуса старения и увеличением содержания индикаторов старения пива.

ЭПР-спектроскопия позволяет выявлять и свободные радикалы. Их содержание

зависит от сорта ячменя, области его возделывания и условий года сбора урожая. Ячмень, выращенный в приморском климате, характеризуется повышенным содержанием свободных радикалов и фенольных веществ. Повышенному содержанию свободных радикалов способствуют более высокая степень растворения белка, высокие значения VZ 45 °С, содержания β -амилазы и показателей по фриабиллиметру, а повышенные вязкость и содержание β -глюкана снижают содержание свободных радикалов.

Хемилюминесцентный анализ позволяет проводить непрерывное измерение окислительных реакций в процессе дробления и затирания солода. Этот анализ подтверждает благоприятный эффект затирания в атмосфере инертного газа, но показывает явные отличия в зависимости от типа солода. Результаты этого анализа изменяются параллельно способности к образованию ноненалей (см. далее).

Как отмечалось в разделе 7.6.6.5, полифенолы повышают редуцирующую способность пива. При этом существенную роль в процессе изготовления играют фенолкарбоновые кислоты и мономерные полифенолы. Способность к восстановлению радикалов (СВР) снижается в следующей последовательности: галловая кислота — кофейная кислота — эпигаллокахетингаллат — гентизиновая (2,5-дигидроксibenзойная кислота) кислота до эпикатехина (СВР — от 815 до 530) и протокатеховая кислота — феруловая кислота - р-кумаровая кислота — эпикатехингаллат до ванилиновой кислоты (СВР - от 290 до 110). Полифенолы хмеля способны повысить СВР пива примерно на 10 %. К низкомолекулярным полифенолам хмеля относится множество феноловых карбоновых

кислот и флаванолов — прежде всего проантоцианидины и флаванолы. Их содержание зависит от сорта хмеля, а также определяется областью его возделывания. Стабилизация пива с помощью ПВПП лишь незначительно уменьшает продолжительность собственно лаг-фазы, однако от этого страдает СВР и тем самым индекс стойкости пива, который рассчитывается по таким показателям как лаг-фаза, СВР и восстанавливающая способность (у стойкого пива он должен быть выше 60). Пиво, обработанное ПВПП и обладавшее перед стабилизацией в целом высоким содержанием полифенолов, характеризуется лучшей стойкостью вкуса по сравнению с пивом, бедным полифенолами. Представляется, что содержание полифенолов в сусле и нестабилизированном пиве может служить индикатором относительно последующей стойкости вкуса. При этом, однако, СВР полифенолов в сусле более выражено по сравнению с изготовленным из него пивом, так как при низких значениях рН пива полифенолы не могут проявить это свойство.

Обращает на себя внимание уменьшение содержания аминокислот в процессе старения пива — например, глутамина почти на 80 %. При этом наблюдается также снижение содержания фенилаланина, гистидина, тирозина, лейцина, изолейцина и лизина.

Из продуктов расщепления и окисления липидов в пиве присутствуют некоторые насыщенные и ненасыщенные карбонильные соединения, содержание которых в ходе старения пива первоначально даже возрастает, однако после достижения определенного максимума вновь снижается.

Содержание других карбонильных соединений в процессе старения снижается

непрерывно. К первой группе относится (Е)-2-ноненаль (в литературе по пивоварению его обозначают также *транс-2-ноненаль*). Он считается важным источником образования «картонного» привкуса старения. В ходе старения пива его содержание возрастает до некоторого с трудом определяемого предельного значения, однако, как и другие ненасыщенные карбонильные соединения, он затем вновь расщепляется и поэтому показатель его содержания не годится для характеристики степени старения пива. Тем не менее способность к образованию ноненалей в сырье и промежуточных продуктах пивоварения считается индикатором последующего образования в пиве веществ старения.

Высокая активность липогексиназ солода и затора обуславливает увеличение содержания веществ-индикаторов расщепления липидов пива — гептанола, нонадекановой кислоты и гамма-нона-лактона, а также индикаторов старения. Солод, быстро подсушенный при повышенных (например, при 65 °С) или высушенный при высоких (свыше 86 °С) температурах, дает в пиве низкое содержание продуктов расщепления или окисления липидов. При кипячении затора и сула эти процессы можно существенно ограничить (см. разделы 2.3.1.5 и 10.2.4) применением дробления солода в атмосфере инертного газа, использованием деаэрированной воды и особенно за счет низкого значения рН затора (5,2-5,4) и повышенных температур затирания (более 62 °С). На последующих стадиях приготовления сула следует избегать поглощения кислорода. Эти факторы и прежде считались важными, хотя они постоянно подвергаются сомнению. Тем не менее технологию с контролем содержания кислорода при приготовлении

сула можно считать соответствующей современному уровню.

В так называемом «белом» пиве (*Weißbier*), как отмечалось ранее, лаг-фаза не выявлена (в свежем пиве ее значение составляет всего 10 единиц), но у фильтрованного прозрачного пшеничного пива отмечается хорошая вкусовая стойкость. Это подтверждает также индекс стойкости пива, который даже у светлых сортов пшеничного пива составляет от 30 до 55 ед. Здесь большую роль играет содержание в используемом солоде редуктонов и предшественников продуктов реакции Майяра. Поскольку в сортах светлого пшеничного пива с показателем цветности до 13 ед. ЕВС содержится определенная доля темного или карамельного солода, то данное свойство можно объяснить и этим. У темного пшеничного пива, а также у темных сортов пива низового брожения наблюдается хорошая восстанавливающая способность, чему способствует в том числе и низкое остаточное содержание свободного α -аминного азота.

Более крепкое пиво с повышенным содержанием алкоголя (например, *Bockbiere*) имеет более высокий индекс стойкости благодаря антиоксидантным свойствам этилового спирта.

При старении белого пива (включая дрожжевое) происходит снижение содержания 4-винилгваяколя, а также сложных вкусообразующих эфиров. Важно, чтобы розлив пива осуществлялся без доступа кислорода, так как жизнеспособные дрожжи не способны компенсировать действие кислорода, содержащегося в горлышке бутылки.

Что касается технологических мероприятий по обеспечению стабильности вкуса (см. разделы 7.6.5 и 5.3.6), то ухудшение лаг-фазы может наступить

вследствие применения дезинфицирующих средств на базе перекиси водорода и недостаточного ополаскивания. Перекись водорода может в дальнейшем вступать в каталитическую реакцию с железом с образованием гидроксильного радикала. Например, в танке для дображивания вместимостью 1000 гл перед ополаскиванием остается около 200 л дезинфицирующего средства. Показатель СВР при этом снижается наполовину, а начиная с 60 л лаг-фазу определить уже невозможно. Остаток дезинфицирующих средств в 20 л уменьшает СВР на 7 %, а лаг-фазу — на 20 %. Эффективность ополаскивания при использовании дезинфицирующих средств (особенно уменьшающих поверхностное натяжение) имеет большое значение для характеристик пивной пены (см. раздел 10.7.1).

Помимо перечисленных факторов, касающихся сырья, приготовления сусла и хода брожения, в последнее время появилось много инноваций, далеко выходящих за рамки мероприятий, описанных в соответствующих главах нашей книги. Все они могут обеспечить положительный результат.

Содержание кислорода в CO_2 брожения, извлеченном на современных установках рекуперации CO_2 , составляет 30-50 мг/кг, что соответствует степени чистоты 99,995-99,997 %. Это уже не отвечает современным требованиям по регулированию желаемого содержания CO_2 в ходе карбонизации пива, деаэрированной промывной воды, установления требуемого содержания начального сусла у более плотного пива, а также CO_2 -промывки кислородсодержащего первого сусла и фильтрованного пива в танке для дображивания пива под давлением. В этих целях в CO_2 должно

содержаться еще меньше кислорода, и для достижения требуемых значений (не более 5 мг/кг) требуется дополнительная ректификация сжиженного CO_2 . Кроме того, степень чистоты CO_2 важна при обработке кизельгура и силикагелей, поскольку в них содержится кислород и требуется их промывка CO_2 (в дозирующей емкости для кизельгура или, что лучше, в резервуаре для предварительного смешивания). Необходимо при транспортировке кизельгура из одной емкости в другую исключить захват воздуха, а в ходе дозирования кизельгура в дозирующей емкости следует создать своего рода «подушку» из CO_2 путем его подвода снизу. Это относится и к силикагелям, если их добавляют, например, уже после осветления фильтрованием, то есть до буферного танка.

С кизельгуром в пиво вносятся и другие микроэлементы. Присутствующее в пиве железо, содержание которое согласно нормативам не должно превышать 100 мг/кг, оказывает влияние на стойкость вкуса; кальций (содержание менее 500 мг/кг) существенно влияет на возможность осаждения оксалатов и на гашинг-эффект (см. раздел 7.6.7).

Содержащееся в кизельгуре железо почти на 65-70 % переходит в пиво, причем больше всего это сказывается на первом сусле и на первых 10 % пива после 8-часового фильтрования. Это железо может вызвать повышение его содержание в пиве на 0,1 мг/л и сократить лаг-фазу пива. Содержание железа в кизельгуре зависит от способа его подготовки (см. раздел 4.2.2.1) и происхождения. Можно задать более низкое предельное значение по содержанию железа, например, не более 50 мг/кг, однако это требует дополнительных затрат. Более целесообразно обработать кизельгур

разбавленной кислотой (например, лимонной) уже в емкости для предварительного смешивания, что позволит растворить железо и впоследствии его вывести (здесь важно значение pH). При этом можно также снизить содержание в пиве кальция.

Еще одним источником кислорода являются прокладки для кронен-пробок. Прежде их изготавливали из натуральной пробки с алюминиевой фольгой, но в настоящее время все шире применяются синтетические материалы — вспененный или невспененный ПВХ или ПБС или смеси. Компаундные массы, не содержащие ПВХ и изготовленные без добавления мягчителей, состоят из ПЭ, ПП, этиленвинилацетатных сополимеров и эластомеров.

В процессе хранения бутылочного пива CO_2 улетучивается, и кислород может проникать в бутылку через уплотнительную прокладку. Степень поглощения кислорода через 6 мес. может составить до 1,4 мг/л. В результате все предшествующие усилия на стадии розлива оказываются напрасными. У пластмассовых винтовых колпачков (см. раздел 10.6.2) и у пробок с пружинным хомутом проницаемость для кислорода еще выше. У этого вида укупорки многое зависит от состояния механизма замка и резинового кольца. Кронен-пробки с компаундной прокладкой, обладающей барьерными свойствами, снижают поглощение кислорода пивом за полгода примерно на 0,2 мг/л (навинчивающиеся колпачки благодаря барьерному слою из ПБС дают примерно те же значения). Еще более эффективны в качестве барьера для кислорода так называемые «поглотители», включаемые в прокладку, так как в них содержатся соединения, способные химически

связывать поступающий кислород. В этом случае увеличения содержания кислорода в пиве не отмечается в течение полугода (или пока поглотитель активен). Такие поглотители кислорода, однако, не способны абсорбировать кислород из воздушного пространства в горлышке бутылки и растворенный в пиве кислород, так как для активации поглотителей требуется от 6 до 12 ч.

Проницаемость ПЭТ-бутылок для кислорода в 10-12 раз выше проницаемости «нормальной» кронен-пробки, а это означает, что даже при сроке годности в 8 нед. содержание кислорода в пиве увеличивается на 5 мг/л. У ПЭН-бутылок проницаемость для кислорода составляет одну треть от ПЭТ, у многослойных (*Multilayer*) бутылок — одну четверть, а у бутылок с покрытием еще лучше, но и здесь можно использовать активные поглотители кислорода (правда, это отражается в издержках). Хорошую защиту обеспечивает также групповая упаковка, в которой, например, «шестерка» бутылок обернута пленкой, а пространство под пленкой заполнено инертным газом. Для металлических банок каких-либо проблем с поглощением кислорода нет, причем как со стороны стенки, так и крышки.

Содержание кислорода в пиве после розлива. Ограничить поглощение кислорода на уровне ниже 0,03 мг/л, включая воздух в пространстве горлышке бутылки, может установка для розлива пива в бутылки с двойным предварительным вакуумированием (см. раздел 5.3.6) и созданием противодавления CO_2 при условии правильной работы установки розлива (вакуумный насос, разрежение в отдельных блоках розлива, неповрежденные уплотнения). При розливе в банки в случае использования алюминиевых

банок предварительное вакуумирование невозможно (в лучшем случае достигается 20 %-ное разрежение). В этом случае целесообразна промывка банок CO_2 перед созданием противодавления.

Исследования на разных пивоваренных предприятиях показали, что общее содержание кислорода в бутылке или банке с пивом может быть снижено до 0,05 мг/л, но это требует строгого соблюдения всех мер, рассмотренных в соответствующих разделах.

Пастеризатор для кратковременной высокотемпературной обработки после фильтра или перед блоком розлива снижает измеренное содержание кислорода в пиве, так как в ходе тепловой обработки он вступает в реакцию с компонентами пива. В связи с этим для внутрипроизводственного контроля для определения «истинного» поглощения O_2 важно содержание кислорода до и после установки для кратковременной высокотемпературной обработки.

Как отмечалось выше, аналитически спрогнозировать вкусовую стойкость пива можно путем определения лаг-фазы при помощи ЭПР-спектрометрии и (приблизительно) по содержанию в пиве SO_2 . Важные сведения могут дать и более простые методы — даже изменение цвета (в пересчете на однородное начальное сусло, например, 12 %-ное) и значения pH во время приготовления пива (фильтрованного сусла, сусла до и после кипячения, начального сусла и молодого пива перед фильтрованием). Еще более точный прогноз дает ТБЧ (тиобарбитуровое число, показатель тиобарбитуровой кислоты), измеренное на тех же стадиях, и, наконец, определение анилиновой точки.

ТБЧ является важным параметром продуктов, подвергшихся термической

обработке, в ходе определения которого выявляется содержание гидрокси-метилфурфурала (ГМФ), а также других веществ. Таким образом, речь идет о суммарном показателе, который аналитически можно разделить на «общие», «постоянное» и «временное» ТБЧ. «Постоянное» ТБЧ не изменяется от начального сусла до пива, тогда как «временное» ТБЧ исчезает параллельно восстановлению карбонильных соединений в ходе брожения.

ТБЧ можно определить еще в солоде (проще всего — в конгрессном сусле). Оно дает информацию о правильности технологии подсушивания и сушки солода (см. раздел 10.1.3), при этом, конечно, определенную роль играет протеолитическое растворение (нормальное, негомогенное, перерастворение). Между ТБЧ и содержанием предшественников ДМС существует антагонизм, то есть чем более низкого содержания последнего требуется достичь, тем больше должно быть ТБЧ. Для солода плызенского типа цветностью 2,8-3,3 ед. ЕВС допускается значение ТБЧ от 12 до 15 — более высокие значения свидетельствуют об ошибках при подсушивании и сушке солода или о его негомогенности. ТБЧ солода может составлять 55 % от ТБЧ пива. Если наблюдаются ошибки при приготовлении сусла — например, слишком длительное время нагревания, слишком продолжительная тепловая выдержка, повышенные температуры кипятивника или теплоносителя, а также слишком длительные периоды выдержки горячего охмеленного сусла, то рост ТБЧ во время этих технологических операций получается очень высоким (см. табл. 10.1). Это ТБЧ является «постоянным» и приводит к недостаточному снижению цветности в процессе брожения, в результате

чего ухудшается стабильность вкуса. Добавление темного или специального солода (светлого или темного карамельного) вызывает повышение ТБЧ, однако его изменение во время кипячения и последующих технологических операций может служить индикатором правильности ведения процесса.

Показатель ТБК пильзенского пива может колебаться от 28 до 45, у светлого экспортного пива он составляет порядка 30-50 (в зависимости от желаемого цвета пива), у пшеничного пива - около 25-30. Показатель ТБК не подходит для отслеживания процесса форсированного старения пива. Для этих целей пригоден описанный ниже анилиновый показатель (АП).

Анилиновая точка (АТ) демонстрирует связь с 2-фурфуралем, содержание которого существенно возрастает при старении пива, особенно при его теплом хранении. Значение АТ в свежем пиве составляет от 0 до 2 и при брожении уменьшается с исходной величины 100 в начальном сусле до указанного значения. В пиве после розлива АТ с течением времени и повышением температуры хранения возрастает и коррелирует с нотами старения, определяемыми органолептически. Кратковременная высокотемпературная обработка и пастеризация не оказывают влияния на АТ, как и воздействие света, кислорода и взбалтывания. При хранении пива в течение 40 нед. при температуре 3 °С АТ возрастает до 10, при 12 °С - до 21, а при 20 °С - до 75. То же наблюдается и при ускоренных методах испытаний пива на старение. Таким образом, по показателю АТ можно прогнозировать поведение пива в цепочке сбыта или, что не менее важно, определить, какому температурному воздействию оно подверглось.

10.7.3. К разделу 7.6.7.

Фонтанирование пива (гашинг-эффект)

Первичное фонтанирование обусловлено действием плесневых грибов, способствующих образованию поверхностно-активных веществ (путем синтеза соединений, присутствующих в самих грибах, или путем расщепления ингредиентов зернового сырья). К таким поверхностно-активным веществам относятся протеины и полярные липиды. При этом неспецифические липотрансферпротеины из ячменного или пшеничного солода, а также гидрофобины плесневых грибов, по-видимому, играют такую же роль, как и полярные липиды. Неполярные липиды в процессе пивоварения удаляются.

Гидрофобины являются внеклеточными протеинами плесневых грибов с молекулярной массой 10-25 кД и чрезвычайно высокой поверхностной активностью. Они способны образовывать устойчивые пленки на поверхностях раздела сред, например, воды и газа. Они характеризуются высокой устойчивостью к действию протеаз, нагреванию и могут даже в самых ничтожных концентрациях образовывать устойчивую пену, тем самым стабилизируя микропузырьки, вызывающие гашинг-эффект в пиве. Концентрация этой фракции протеинов в пене зависит от соответствующего значения рН (3,5-4,8).

Вместе с тем плесневые грибы вырабатывают также липиды, причем с насыщенными жирными кислотами они способны гасить или даже подавлять избыточное пенообразование. Липиды с насыщенными жирными кислотами, напротив, усиливают гашинг-эффект. Упомянутым выше липотрансферпротеинам,

вероятно, отводится лишь подчиненная роль. Дополнительный эффект заключается в том, что грибы рода *Fusarium* также способны высвобождать значительное количество железа.

Плесневые грибы могут синтезировать токсины, способные подавлять способность зерна ячменя или пшеницы к прорастанию. При незначительной степени поражения ими замедляется развитие зародышевых корешка и листка и затрудняется образование α -амилазы. Кроме того, ценность зерна как пищевого продукта и корма значительно снижается.

В процессе пивоварения афлатоксины и охратоксин А преимущественно удаляются, как и зеараленон. Трихотецены ниваленол и деоксиниваленол (*DON*) являются водорастворимыми, и на них процесс пивоварения практически не влияет.

По этой причине при приемке ячменя и пшеницы на солодовенных предприятиях или солода на пивзаводах большое внимание уделяется контролю за поражением сырья фузариями и другими плесневыми грибами. Количество «красных зерен» позволяет дать лишь грубую оценку — более репрезентативен подсчет «релевантных красных зерен», но он требует наличия определенного опыта. Дополнительную информацию может дать ускоренный тест на склонность пива к фонтанированию (см. раздел 10.1.8). Желательно при приемке сырья применять возможно более точные методы. Так, цепная реакция полимеразы (ЦРП) позволяет получить результат в течение 3,5 ч, а с помощью ЦПР в реальном времени РНК плесневых грибов выявляется уже в ходе собственно анализа по методу ЦРП. Тем самым становится возможным определить *DON*, так как между наличием ДНК фузарий и концентрацией

DON существует очевидная взаимосвязь. Затраты на проведение такого анализа и необходимое для этого время делают эти исследования целесообразными только при большом объеме проб. Обнаружение ДНК фузарий может быть также проведено с помощью палочки для проб, при этом любой продукт ЦПР выявляется в течение 15 мин. Другие методы анализа находятся еще в стадии разработки, и в ближайшем будущем появятся быстрые и надежные методы анализы.

Хотя гашинг-эффект в последние 10 лет интенсивно изучался, время от времени регистрируют случаи, с трудом поддающиеся объяснению. Явление чрезмерного пенообразования подвержено действию многих факторов, и возможно, что любое пиво обладает некоторым своего рода «базовым потенциалом». Если же к нему добавляется один или несколько вышеописанных первичных или вторичных факторов (наличие оксалатов, железа, кизельгуровых фильтров и т. д.), то гашинг-эффект становится заметным.

10.7.4. К разделу 7.7.

Фильтруемость пива

Цитолитическое растворение солода можно определить намного точнее, чем прежде, с помощью калькофлера по показателям модификации «М» и гомогенности «Н». В настоящее время, чтобы добиться хорошей фильтруемости сусла и пива, при затирании с высокими температурами (60–62 °С) требуемое значение «М» составляет 85 %, а значение «Н» — 75 %. Анализ содержания β -глюкана в сусле температурой 65 °С (см. раздел 10.1.7) в сравнении с содержанием β -глюкана в конгрессном сусле дает ясную информацию о гомогенности и тем

самым о последующем поведении солода при фильтровании. Для суслу с температурой 65 °С благоприятным является содержание β-глюкана около 250 мг/л — предельное содержание в 350 мг/л уже может вызвать проблемы. Вязкость суслу с температурой 65 °С не должна превышать 1,60 мПа. Хотя этот метод и является полезным дополнением теххимических анализов солода, при его оценке следует учитывать также год сбора урожая. В заключение необходимо отметить, что оба метода очень чутко реагируют на смеси из хорошо и плохо растворенного солода, что в традиционных методах анализа проявляется в меньшей степени.

В сусле и пиве, изготовленном из негомогенного солода, благодаря наличию высокомолекулярного β-глюкана, обусловленного усилиями сдвига, может наблюдаться повышение вязкости, через некоторое время приводящее к гелеобразованию (см. раздел 7.7.1.1). Ему способствуют низкие температуры и содержание спирта.

Фильтруемость пива способны снижать (наряду с β-глюканами ячменя или солода) полисахариды клеточной стенки дрожжей, в частности, маннан. Дрожжи, поврежденные в ходе их сбора и хранения, а также из-за неблагоприятных условий при брожении, могут сократить срок службы фильтра на 20-40 %. То же относится к дрожжам, у которых при брожении не отмечается ни оптимального размножения, ни удовлетворительного снижения экстрактивности. Производство гликогена дрожжами, хотя и меньше влияет на производительность фильтрования, может вызвать увеличение мутности фильтрованного пива.

Из-за инфицирования пива микроорганизмами (*Gluconobacter frateurii*,

Pantoea agglomerans) в пиво могут приноситься полисахариды, что приводит к сокращению срока службы фильтров, а также снижению степени осветления.

10.7.5. К разделу 7.8. Биологическая стойкость пива

Что касается микроорганизмов-индикаторов (см. раздел 7.8.1.7), то уксуснокислые бактерии и некоторые другие образуют слизистые капсулы, которые прекрасно защищают их от высыхания и воздействия мойки. В труднодоступных и других «узких местах» они могут образовывать биопленки, в которых будут сохраняться микроорганизмы-вредители пива. Под этими пленками формируются анаэробные условия, в которых наряду с молочнокислыми бактериями могут также развиваться бактерии родов *Peetinatus* и *Megasphaera*. Такие биопленки особенно опасны в зоне розлива, так как остатки пива и пены обеспечивают микроорганизмам хорошие условия для питания и выживания.

Формированию биопленок наряду с обычными методами мойки и дезинфекции можно эффективно противодействовать обильной мойкой горячей (85-90 °С) водой блока розлива (каждые 2 ч или всякий раз при сбоях на линии розлива) в течение примерно 5 мин.

Представленная в разделе 7.8.2 *общая схема микробиологического контроля* до сих пор актуальна, однако ниже мы дадим к ней некоторые дополнения. При этом следует отметить, что наряду с питательными средами *NBB* не так давно стал применяться аэробный или анаэробный субстрат *NBB-B-AM*. На поиск следов микробиологической контаминации оказывают сильное отрицательное действие

статические и гидравлические факторы, в связи с чем требуется регулярно проводить анализ «узких мест» с отбором специальных проб (мазки с *NBB-B-AM*) как в варочном цехе, так и в цехе розлива. Термостатирование пробирок проводят аэробно в течение 3 сут при температуре около 27 °С. Изменение цвета с красного на желтый указывает на наличие био пленки, в которых рано или поздно будут присутствовать микроорганизмы-вредители пива. На блоке розлива и укупорки ежедневно требуется отбирать 20-30 мазков. Если в течение нескольких недель положительные результаты анализа в среднем составляют около 30 %, то вероятность вторичной контаминации очень высока.

Для повышения достоверности проб, взятых из трубопроводов для пива, была разработана специальная байпасная мембранная система (БМ). В этом случае пробы большого объема (например, 20 л) отбирают непосредственно и непрерывно из потока пива с помощью насоса с регулируемым числом оборотов и через специальный мембранный фильтр их снова возвращают в поток. Мембранные фильтры термостатируют в *NBB-бульоне* или на *NBB-агаре*. Этот способ иногда применяют совместно с молекулярно-биологическими экспресс-методами анализа — по ЦРП или на основе генных зондов с флуоресцентной меткой. Тест-набор лучше размещать после фильтра или на входе в фильтр.

10.7.6. К разделу 7.9.

Физиологическое действие пива

Медицинские исследования свидетельствуют, что пиво может оказать положительное действие при сердечно-сосудистых

заболеваниях и служить средством их профилактики. Оно стимулирует коронарный кровоток, снижает артериальное давление (но не ниже нормального) и тем самым облегчает работу сердца. Пиво влияет на содержащиеся в крови жиры, повышая уровень ЛВП-холестерина («хорошего») и снижая уровень нежелательного ЛНП-холестерина. Кроме того, пиво защищает стенки сосудов благодаря своим антиоксидантам (фенолам, флавоноидам, кверцетину, катехину и т. д.).

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) умеренным считается потребление около 40 г алкоголя (1 л пива) в день (для мужчин), а для женщин — около 20 г алкоголя в день.

Хотя в пиве со средним содержанием полифенолов (150 мг/л) их меньше, чем, например, в белом (около 200 мг/л) или красном вине (1200-2000 мг/л), их влияние, тем не менее, очень важно. Здесь следует учитывать, что так как пива потребляется примерно в 2,5 раза больше, чем вина, то эти значения почти сравниваются.

Полифенолы (особенно ксантогумулон, изоксантогумулон, а также кверцетин) и горькие вещества хмеля (гумулон и лупулон) обладают антиканцерогенным действием. Полифенолы характеризуются антимикробным действием, а горькие вещества хмеля — и бактериостатическим (см. раздел 2.1.4.6). Полифенолы являются антиоксидантами и способны защитить липопротеиды низкой плотности (ЛНП, см. выше) от окисления и, таким образом, заблаговременно предупреждать возникновение сердечно-сосудистых заболеваний. Некоторые полифенольные кислоты благодаря своим антиоксидантным свойствам могут сдерживать образование из нитритов и вторичных аминов канцерогенных нитрозаминов.

Горькие вещества хмеля — гумулон и лупулон — имеют высокий антиокислительный потенциал, а полифенолы обладают также противотромбозным и противовоспалительным действием. Ксантогумулон и изоксантогумулон способны препятствовать мутагенным воздействиям гетероциклических аминов и, как и гумулон, важны для профилактики остеопороза. Кроме того, ксантогумулон и ксантогумол В сдерживают развитие фермента диацилглицерольтрансферазы и тем самым противодействуют развитию атеросклероза. Положительное действие ксантогумола привело к тому, что в ходе производственного процесса его стараются накапливать (см. раздел 10.2.2).

К витаминам, содержащимся в пиве, относится также фолиевая кислота (витамин В9), влияющая на обмен веществ, рост клеток и кроветворение. Положительное действие она оказывает на гомоцистеиновый обмен веществ, что имеет профилактический эффект применительно

к сердечно-сосудистым заболеваниям. В пиве низового брожения из 100 % солода фолиевая кислота содержится в количестве от 70 до 100 мкг/кг, а в пиве, приготовленном с использованием несоложенного сырья, соразмерно меньше. В пшеничном пиве содержание фолиевой кислоты составляет 100-130 мкг/кг, и таким образом употребление 1 л пшеничного пива на одну треть покрывает суточную потребность организма в фолиевой кислоте.

Фолиевая кислота пива образуется при проращивании солода. На ее содержание влияют также дрожжи. Технологическими средствами содержание фолиевой кислоты может быть повышено путем применения более низких температур сушки, более «жидкому» затиранию при низких начальных температурах, а также общей низкой термической нагрузкой в процессе пивоварения (положительно сказываются также повышенные температуры созревания пива верхового брожения).

Предметный указатель

А

Абсцизовая кислота 31
Адгумулон 167
Адсорбция 400
Азот
 альфа-аминный 54-55
 коагулируемый 252

Альбумины 19
Альфа-кислоты 166,256
Альдегиды 321
Амадори перегруппировка 105
Амилазы 56-58,184
Амиллопектин 15
Аминокислоты 105,315
Амины 55
Аниониты 157
Аптоцианогены 193
Аппараты заторные 198-201
Арабиносиланы 52
Ацетил-коА 320
Ацетон 323

Б

Банки металлические 435
Белок
 коагуляция 251
 расщепление 187
 степень растворения 54

Бентонит 257

Биотин 319

Бишопа способ 398

Бочки 426

 мойка 427

Бродильные емкости 332,335
 буферные танки 385
 вертикальные 339,342,384
 вместимость 335
 горизонтальные 338,342
 закрытые 337
 материал 335-337
 охлаждение 333
 сфероконические 340
 универсальные 340,391

Брожение 303

 аэрация 346
 бродильное отделение 332
 в бутылках 546
 верховое 531,536, 539
 внесение дрожжей 343-345,347
 высокоплотного сусла 392,565-566
 главное 349
 забел 349
 контроль 351
 непрерывные способы 397
 низовое 332
 образование CO₂ 361
 отклонения 352
 перекачка пива 356
 побочные продукты 358
 под давлением 359,388-389,541-542

Бутылки 434

 мойка 435

 укупорка 443

Бутылкомоечные машины 436-438

В

Валин 323

Варочный пех 276-279

Вентиляторы 75,86,110

Вирул 289-290,564

Вициальные diketоны 322,378,543

Вода 151

 водоподготовка 155, 581

 декарбонизация 155,161

 жесткость 152,156

 ионы 153

 обессоливание 159,161

 состав 151-152

 типы 153

 уменьшение кислотности 154

 умягчение 155

Воздух

 подогрев 131

 рециркуляционный 87,126

Воздуховоды 74

Ворошитель 85,95

Вредители ячменя 38

Высокоплотное пивоварение 562

Высшие спирты 319

Г

Гартонга-Кречмера число 63

Гартонга-Кречмера четырехзаторный метод 142-143

Гашинг-эффект 38,632

Гемцеллолозы 16,191

 расщепление 191-192,585

Гиббереллин 51,99

Гибберелловая кислота 51,99,139

Гидроксиметилфурфураль 143

Гистамин 55

Гликопротеиды 189

Глицерина синтез 317

Глобулины 19,252

Глютелины 19,188

Горденин 55

Грядка растительная 67-68

Гумми-вещества 16,191

Д

Дека 350

 оседание 353

Декастер 245

Декстриназа 185

Декстрины 185

Диастатическая сила 57

Диацетил 322

Диметилсульфид 55,107,324

Диоксид углерода 41,44,139

Диметилсульфид 107,268,317,576

Дображивание 364

 бетонные танки 368

 бочки 366

 вертикальные танки 368

 карбонизация 374

 контроль 380

 металлические танки 367

 оживление пивом 370-371

 освещение пива 375-376

 отделение дображивания 364

 охлаждение 365

перекачивание 368-369
 при верховом брожении 544-546
 продолжительность 377
 снижение экстрактивности 369
 условия 370
 центрифугирование 386

Дробилки солода 176-179,584
 Дробина 223

выщелачивание 226,238
 остаточный экстракт 279
 разрыхление 227
 состав 274
 удаление 232

Дрожжевой осадок 423

Дрожжи 303

автолиз 310
 верховые 532
 внесение 603-606
 генетическая мо/шфикация 308-310
 иммобилизованные 395
 жизнеспособность 332,609
 метаболизм 310
 морфология 304
 низового брожения 325
 освежение 346
 очистка 329
 пылевидные 369
 разведение чистой культуры 325-326,507
 размножение 307
 семенные 328
 снятие 328
 сухие прессованные 331
 флокуляция 360
 химический состав 305
 хлопьевидные 328
 хранение 330-331,608-609

Ж

Жирные кислоты 316

Жиры см. Липиды

З

Завитки 350

Замачивание ячменя 39
 повторное 139
 потребление воды 41-42
 оценка результатов 48-49
 потери 49,137
 способы 45-48

Замочная вода 40

Замочное отделение 43

Замочные аппараты 42,44,49

Затирание 183

белковая пауза 190
 двухотварочный способ 203
 контроль 214-217
 настоящие способы 208,586
 одноотварочный способ 205
 по Шмитцу 206
 под давлением 210
 продолжительность 197-198
 расход энергии 200
 с разделением помола на фракции 209
 температура воды 197
 трёхотварочный способ 201

Заторный котел 200

И

Изогумулоны 167,256

Иониты 157

Ионообменники 157-159

К

Калькофлер 62,574,533

Камнеотборник 27

Катиониты 157

Кеги 427,430

мойка 430-432

Кизельгур 257,403-406, 610-611

Кипятильники 248

внешний 248-249,270

внутренний 248

Кислород 40

Кольбах число 53,142

Компрессия вторичного пара 271

Красящее пиво 146

Красящие вещества 266

Кратковременная термическая обработка 449-452

Крахмал 15

гидролиз 185-186

расщепление 56,184,584-585

Кребса цикл 312

Кребтри эффект 313

Кремниевая кислота 161,257

Кропфа способ 97

Крупка кукурузная 150

Ксантогумулон 583

Кукуруза 150

Кутса способ 397

Л

Ламинарибиоза 51

Лигнин 16

Липиды 17

расщепление 58,193,585

Лулулин 166

М

Майяра реакция 106,125,267

Мальтаза 185

Мальтоза 56

Мезоинозит 319

Меланоидины 106

Метаболизм

азотистых веществ 314

жиров 316

минеральных веществ 317

углеводов 311

Метриональ 107

Мирицен 169

Монотерпены 260

Мутномер 421

Муть 400

Н

Наливные клапаны 441-442

Натана метод 387

Несоложенные материалы 149-140,211-213

Никотинамид 318

Нитрозаминны 55,108

О

Обеспыливание 28

Обратный осмос 159-160

ОМФ-значение 267

Осветление 416

Осветлители 547

Остеотделитель 27

Охладитель вакуумный 299

П

Пантотеновая кислота 319

Пастеризация 452-456

пастеризационные единицы 453

ПВПИИ 255,624

- Пенообразование 621
 Пеноуловитель 362
 Пентозаны 51
 Пиво
 безалкогольное верховое 566
 верховое «диетическое» 565
 «легкое» пиво верхового брожения 566
 пшеничное бездрожжевое 553-559
 пшеничное дрожжевое 559-562
 сладкое солодовое 564-565
 Alt 549-551
 Berliner Weissbier 562-564
 Koelsch 551-553
 Пиридоксин 318
 Планзихтер 30
 Подкисленис 162
 Подсушивание 102
 Поливинилпирролидон см. ПВПП
 Полисахариды 16
 Полифенолы 17, 58, 193
 Потери пива 461-465
 Прездаторник 199
 Пропламины 19, 188
 Проращивание 49, 59
 параметры 50
 перезамачивание 91, 100
 показатели 59
 потери 138
 при убывающих температурах 90, 139
 продолжительность 138
 тепловыделение 63
 углекислотная пауза 97
 условия 64
 ПЭТ-бутылки 617-621, 630
Р
 Раффиноза 532
 Рис 150
 Рисовый крахмал 150
 Розлив 425
 в бочки 428-429
 в бутылки 434, 438, 616
 в кеги 430, 433, 616
 горячий 455
 поглощение кислорода 444-448
 со стерилизацией 442, 448
 Ростовые вещества 139, 318
 Рыбий клей 547
С
 Салфетки фильтрующие 235
 Сахар 151
 Сахароза 185
 Сборник первого сусла 245-246
 Сепараторы 26, 288, 292
 Сероводород 324
 Сжатый воздух 424
 Силосы 34-36
 Сироп кукурузный 151
 Сложные эфиры 320
 Созревание пива 378
 в дрожжевом реакторе 396
 продолжительность 379-380, 393
 Солод
 аромат 105, 575
 венского типа 125
 влажность 142, 182
 выгрузка 92
 дробление 173-174, 176, 181
 жжёный 146, 580
 карамельный 146, 580
 кислый 148
 кондиционирование 178
 короткого рашения 148
 механический анализ 140-141
 недорастворение 62
 охлаждение 133
 перераствованный 62
 полировка 134
 помол 174-175, 182
 продолжительность осахаривания 142
 пшеничный 144, 579
 разность экстрактов 142, 578
 расщепление белка 52-53
 ржаной 145
 рыхлость 141, 577-578
 свежепроросший 101
 светлый 129
 свойства 140
 среднеокрашенный 125
 стекловидность 141
 степень растворения 52, 182
 темный 129
 техпохимический анализ 141-142
 томленый 147
 удаление ростков 133
 химические изменения 103
 хранение 135-136, 577
 цвет 105
 экстракт 107
 экстрактивность 142
 Солодовая вытяжка 214
 Солодовни
 башенного типа 76-81
 типа «передвижная грядка» 94
 ящичная 82
 Солодорастильный аппарат
 Saladin 87
 круглого сечения 93
 типа «перегружаемый ящик» Lausmann 96
 Солодорастильный барабан с плоским дном 81
 Солодоращение 66
 азрация 71
 башни для проращивания 97
 непрерывное 116
 пневматическая солодовня 70-76
 потери 136-137, 139-140
 пшеницы 144
 режимы 89
 системы 66, 116
 стабилизация пива 624
 степень растворения 61-62
 степень сбраживания 353-355
 Стреймастер 243-244
 Сусло
 ароматические вещества 266
 азрация 298
 высокоплотное 562
 выход 302
 выход экстракта 276-277, 301, 602
 вязкость конгрессного сусла 142
 горячее охмеленное 273
 для верхового брожения 538
 кипячение 246, 254, 269, 590
 конечная степень сбраживания 142, 186, 354
 охлаждение 281-282, 288-289, 299-300, 593,
 599-600

охмеление 246,255,590
 подкисление 162
 показатели 596
 прозрачность 232
 редокс-потенциал 358
 разбавление 564
 состав 231, 274
 спуск 273
 удаление осадка взвесей 281,283,601
 фильтрование 217,223,296
 холодное, выход 300
 цветность 142,250,285,360,543

Сусловарочный котел 246-247

Сушилки 108-133

Сушка

автоматизация 130
 пшеничного солода 145
 режимы 122,125
 свежеспорошеного солода 102
 светлого солода 120,129
 темного солода 123,129

Т

Тиамин 318

Тиобарбитуровое число 143,267,575,631

Тирамин 55

Триер 27

Триптамин 55

Триптофол 320

Турбидиметр 421

У

Углеводы низкомолекулярные 17

Уксусная кислота 321

Ф

Фенол карбоновые кислоты 266

Ферменты 20,51,104

амилолитические 57

арабинозидаза 52

бета-глюканызы 51

бета-глюкансолюбилаза 51

гидралазы 306

глюканызы 52,99

карбоксинидазы 51-52,189

лиазы 306

лигазы 307

липоксигеназа 58

мелибиаза 532

оксидоредуктазы 306

протеазы 189

трансферазы 306

фосфатазы 192

экзопептидазы 53

эндопептидазы 52,189

Фильтрационные остатки 467-468

Фильтрование 221,245,413-415,448,562,612-615

Фильтруемость пива 634

Фильтрующие материалы 401

Фильтрующий слой 221-222

Фильтр-пресс 234,240,236-237,241,341,589

Фильтр-чан 217-220,228-231

Фильтры

вакуумный барабанный 245

всасывающий 29

дисковый 405

кизельгуровый 294,401

масс-фильтр 402

намывной 401

напорные рукавные 29

патронно-шелевой 410

свечной 407

тонкой очистки 363

хлопковый 401

шелевой 406

Флотация 286-297

Фолневая кислота 319

Фосфаты 56

Х

Хейнса перегруппировка 105

Хмельевые препараты 263

Хмелеотборник 273

Хмель 163-169

белки 261

возраст 257

горечь 168

гранулированный 170

дозирование 265

измельчение 262

липиды 261

норма внесения 261

полифенолы 258-259

предварительная обработка 165

сорта 164,170,582

хмельевые масла 168,260

твердые смолы 167

экстракты 171-172,263-264

Холин 319

Холодильная тарелка 285

Ц

Целлобиоза 51

Центрифуги 415-416

Циклон 28

Цистени 268

Цитоллиз 62

Ш

Шпунтование 372-373

Штрекера

альдегиды 575

расщепление 106,266,268

Э

Электроосмос 159

Эмбдена-Мейергофа-Парнаса схема 311

Энергопотребление 76

Энергосбережение 131

Эрлиха механизм 319

Я

Ячмень

белковые вещества 18

влажность 21,33

водочувствительность 24,32,573

голозерный 14

двухрядный 13

многорядный 13

подсушивание 36

примеси 22

прорастаемость 24

растворимость 61

свойства 22

сортирование 26,29-30

способность к набуханию 24

строение зерна 14

сушка 38

транспортирование 25

химический состав 15

хранение 31,34

энергия прорастания 24

С е р и я

**НАУЧНЫЕ
ОСНОВЫ и
ТЕХНОЛОГИИ**

