

621.18
Р 60

К. Ф. РОДДАТИС

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов неэнергетических специальностей высших учебных заведений



МОСКВА
«ЭНЕРГИЯ» 1977

При расчете горелок любого типа для сжигания газообразного топлива определяются расходы газа и воздуха и затем выполняют аэродинамический расчет с целью выяснения условий перемешивания потоков газа и воздуха, сопротивления горелки по воздуху и требуемых размеров отверстий для подачи газа. Для инжекционных горелок определяют и способность горелки инжектировать требуемое количество воздуха.

При размещении горелок для сжигания природного газа и мазута необходимо учитывать длину факела, направление его развития, удобство контроля и наблюдений за работой горелки и ремонта при остановке. Пример размещения горелок для сжигания жидкого и газообразного топлива в топочной камере котлоагрегата небольшой производительности показан на рис. 3-39.

Глава четвертая

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КОТЛОАГРЕГАТАХ

4-1. ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ЗОЛОВОЙ ИЗНОС И КОРРОЗИЯ ВНЕШНИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Представление о физических и химических процессах, протекающих в котельных агрегатах и установках, является необходимым условием для понимания причин, вызвавших создание и определяющих выбор той или иной конструкции топочного устройства, котельного агрегата и его элементов, устройств и вспомогательных механизмов.

К физико-химическим явлениям, протекающим с внешней стороны поверхностей нагрева, относятся процессы горения, загрязнения, износа, коррозии и окалиннообразования и с внутренней — изменение температуры и агрегатного состояния теплоносителя, гидродинамика и циркуляция теплоносителя, образование накипи и выпадение из воды отложений, шлама, иногда коррозии внутренних поверхностей нагрева и сепарация пара и воды.

Загрязнение внешних поверхностей нагрева при омывании их дымовыми газами может иметь место при работе котлоагрегатов на твердых и жидких топливах. Все отложения, образующиеся на наружных поверхностях нагрева, можно условно разделить на четыре группы: плотные, рыхлые, сыпучие и липкие. Каждая из групп отложений связана с составом золы топлива и процессом, протекающим при сжигании в топке.

Первые три группы отложений наблюдаются при сжигании твердых топлив, липкие отложения могут образовываться при сжигании жидких топлив.

Процесс загрязнения начинается в топке и обычно при сжигании твердого топлива происходит в виде осаждения частиц золы на трубах поверхностей нагрева и не закрытых трубами участках обмуровки. Наиболее интенсивно эти процессы протекают при наличии в топочной камере полувосстановительной среды, снижающей температуру плавкости золы по сравнению с температурами для окислительной среды. Первоначально отложения золы твердого топлива имеют в топке рыхлую структуру и могут быть легко удалены. Задержка удаления отложений приводит к их превращению в плотные спекшиеся образования, которые

под воздействием высоких температур и полувосстановительной среды становятся стекловидными.

В рыхлых отложениях силы сцепления частиц между собой и с поверхностью нагрева не велики. Плотные отложения и особенно спекшиеся стекловидные отложения сильно связаны между собой, а также с поверхностями нагрева. Поэтому удаление отложений с поверхностей нагрева в топке и газоходах должно выполняться регулярно и своевременно.

При вертикальном расположении труб в газоходах котлоагрегатов сыпучие и рыхлые отложения падают с поверхностей нагрева и ограждающих конструкций в специальные емкости или бункера.

В тех случаях, когда в газоходы котлоагрегата из топочной камеры уносится значительное количество не полностью сгоревшего топлива, в емкостях устанавливают устройства для возврата уноса в топочную камеру и его дожигания.

При горизонтальном или наклонном расположении труб конвективных поверхностей нагрева сыпучие и рыхлые отложения могут превращаться в плотные. Сернистые мазуты при сжигании без присадок и с большими избытками воздуха α_T дают плотные отложения на трубах пароперегревателя и воздухоподогревателя, прочно сцепленные с металлической стенкой. При совместном сжигании мазута и торфа, мазута и АШ также образуются прочные отложения.

Борьба с отложениями на внешних поверхностях нагрева в топочных камерах ведется путем поддержания такого режима горения топлива, при котором среда в топочной камере окислительная, процесс горения полный и отсутствует наброс (попадание) факела на стены. В газоходах необходимо при всех нагрузках выдерживать скорости газов, препятствующие отложению частиц, вынесенных из топочного устройства. Чрезмерное увеличение указанной скорости дымовых газов ведет не только к разрушению слоя отложений, но и износу металла.

Износ труб поверхностей нагрева может происходить за счет удара частиц золы о металл, разрушения пленки окислов и последующего эрозийного (механического) и коррозионного воздействия. Износ имеет место, когда скорость дымовых газов превышает 6—8 м/с и приведенная зольность топлива (см. стр. 28) составляет около 10—12%. Износ труб протекает неравномерно: больше всего изнашиваются места, где скорости газов и концентрации в их потоке твердых частиц имеют повышенные значения. По окружности трубы быстрее изнашивается стенка, находящаяся под углом 30—40° от оси набегающего потока. В первом приближении износ труб, мм, можно определить из выражения

$$\delta_{\text{износа}} = \omega^3 \tau \mu a k_1 k_2. \quad (4-1)$$

В выражении:

ω — скорость газов, найденная по формуле (2-146), м/с, с учетом неравномерности скоростного поля по сечению газохода, достигающей величины 1,4—1,6;

τ — длительность работы, ч;

μ — концентрация твердых частиц в потоке газов, определяемая по формуле (2-54), г/м³;

k_1 и k_2 — коэффициенты, определяющие число вероятных ударов частиц о стенку и устойчивость металла износу;

a — коэффициент абразивности, мм·с³/(г·ч), величина коэффициента для различных топлив изменяется от —2,2 до 9,5·10⁻⁹ и определяется опытным путем.

Если же скорость дымовых газов низка ($<2-3$ м/с), то могут иметь место повышенное загрязнение поверхностей нагрева и снижение тепловосприятия вне зависимости от приведенной зольности топлива.

В силу изложенного скорости дымовых газов (при номинальной нагрузке котлоагрегата) выбирают в диапазоне $4-8$ м/с. При слоевом сжигании топлива частицы уноса из топочной камеры крупней, чем при камерном, а количество золы меньше, что дает возможность продлить кампанию работы котлоагрегата без очистки поверхностей нагрева.

Внешняя коррозия поверхностей нагрева связана с составом дымовых газов и характером протекания процесса горения, а также с температурным режимом работы металлических элементов и поверхностей нагрева котельного агрегата. Например, при сжигании мазута коррозия может происходить при высоких и низких температурах.

Высокотемпературная коррозия является следствием присутствия в золе мазута окиси ванадия и воздействия его на элементы котлоагрегата при температуре металла, достигающей 680°C и более (подвески, опоры и т. п.). В первую очередь высокотемпературной коррозии подвержены легированные стали аустенитного класса.

Низкотемпературная коррозия связана с содержанием в мазуте серы, образованием SO_3 и соединением его с конденсирующимися водяными парами, дающим серную кислоту и ее раствор.

При камерном сжигании твердого топлива внешняя коррозия труб наблюдалась при температурах металла около 400°C в тех частях топочных камер, где имели место полувосстановительная среда и несгоревшее топливо.

Для борьбы с низкотемпературной коррозией при сжигании сернистого мазута, как показали исследования, целесообразно снижать избыток воздуха в топочной камере до величины $\alpha_T=1,02-1,05$, что уменьшает температуру точки росы. Ориентировочная зависимость температуры точки росы от приведенного содержания серы в топливе показана на рис. 4-1.

Для определения температуры точки росы дымовых газов, образующихся при сжигании сернистых топлив, можно пользоваться формулой ВТИ:

$$t_p = t_k + \frac{\beta \sqrt[3]{S_{\text{пр}}}}{1,05^{\alpha_T} \cdot a_{\text{ул}} \cdot A_{\text{пр}}} \quad (4-2)$$

В формуле:

t_k — температура точки росы водяных паров $50-60^{\circ}\text{C}$;

$S_{\text{пр}}$ и $A_{\text{пр}}$ — приведенное содержание серы и золы в топливе, см. формулу (1-17);

$a_{\text{ул}}$ — доля золы топлива в уносе, см. формулу (2-75);

β — коэффициент, зависящий от избытка воздуха в топке и при $\alpha_T=1,2$ равный 195, при $\alpha=1,5-208$.

Поскольку в дымовых газах всегда имеются вещества, активно реагирующие с металлом, избежать полностью коррозии не удастся. По-

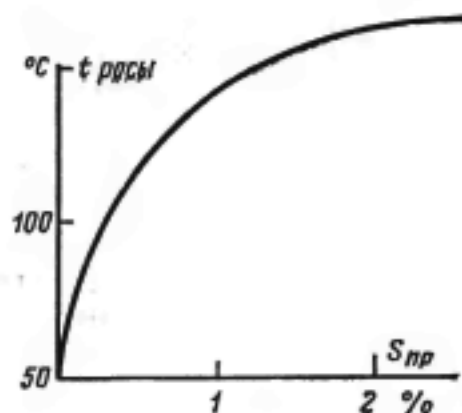


Рис. 4-1. Изменение температуры точки росы дымовых газов в зависимости от приведенного содержания серы в топливе.

этому следует лишь обеспечить условия, при которых скорость коррозии была бы минимальной.

Для низкотемпературного процесса экономически допустима скорость коррозии до 0,2 мм/год при соответствующей температуре стенки, °С:

$$t_{ст} = \frac{\theta_1 + t_{ср}}{2} \quad (4-3)$$

В формуле:

θ_1 — температура греющей среды, °С;

$t_{ср}$ — температура нагреваемой среды, °С.

Поскольку повышение температуры тепловоспринимающей среды (воды, воздуха) не всегда возможно, часто приходится увеличивать температуру газов. Наряду с этим предпринимаются попытки заменить сталь стеклом, керамикой или покрыть сталь эмалью. Низкотемпературные поверхности нагрева, выполненные из чугуна, за счет увеличенной (в 4—5 раз) толщины стенки работают более длительно по сравнению со стальными трубами. Конденсация раствора серной кислоты на поверхностях нагрева, кроме вызываемой им коррозии металла, приводит к отложениям частиц золы и топлива и снижению коэффициента теплопередачи.

При расположении элементов котлоагрегата, изготовленных из углеродистых сталей, в зоне температур выше 600°С и недостаточном их охлаждении может происходить интенсивное окалинообразование. Окалинообразование же на деталях котлоагрегатов сопровождается деформацией, что приводит к нарушению плотности и прочности соединений (дверц, опор, прокладок и подвесок в газоходах) и ухудшает работу поверхностей нагрева. Надежная работа углеродистых сталей будет обеспечена в том случае, если температура металла не превышает 500—600°С, для легированных сталей она может быть повышена до 600—700°С, а сталей аустенитного класса — до 800°С. Однако при таких температурах металла может происходить и высокотемпературная ванадиевая коррозия.

Поэтому для углеродистых сталей необходимо обеспечить охлаждение подвесок, опор, дистанцирующих вставок до температуры 500°С.

4-2. ВНУТРИКОТЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ. ЦИРКУЛЯЦИЯ И ГИДРОДИНАМИКА

Внутри поверхностей нагрева протекают следующие процессы: подогрев и испарение воды, перегрев пара.

Кроме этого этим процессам сопутствуют:

выделение из воды растворенных газов — воздуха, кислорода, азота и двуокиси углерода;

выпадение из воды солей кальция и магния (накипеобразователей), коррозионное разрушение кислородом и двуокисью углерода внутренних поверхностей, изготовленных из стали с образованием окислов железа;

выделение из воды кристаллизовавшихся солей жесткости и образование вместе с продуктами коррозии на внутренних поверхностях нагрева отложений — накипи и шлама.

Для предотвращения или сведения к минимуму влияния каждого из указанных сопутствующих явлений необходимы их учет и применение специальных мероприятий или устройств. Так, например, при нагревании воды для обеспечения смыва со стенок труб пузырьков газа или пара скорость движения воды выбирают достаточно высокой, а воду до подачи в котельный агрегат освобождают от растворенных в ней газов

в специальных устройствах, называемых деаэраторами (см. рис. В-1).

Для предупреждения образования отложений на обогреваемых стенках в специальных аппаратах-фильтрах вода подвергается механической и химической очистке от примесей и солей жесткости. Содержание в котловой воде растворенных солей и шлама регулируется путем их удаления с частью котловой воды — продувкой.

Далее следует создать режим парообразования, требуемый по условиям надежности работы металла и обеспечивающий отвод теплоты и удаление с обогреваемой поверхности образовавшихся пузырьков пара. Этого достигают обеспечением соответствующих скоростей движения воды, пароводяной смеси и пара. Необходимые величины скоростей можно получить, применяя принудительное движение теплоносителя с помощью насоса (принудительная циркуляция), или за счет естественной циркуляции, правильно выбрав сечения всех подводящих и отводящих труб к экранам или пучкам кипяtilьных труб. Далее необходимо распределить расходы среды по отдельным трубам и элементам в соответствии с получаемым ими количеством теплоты. Этого достигают применением формы коллекторов: правильным расположением на них подводящих и отводящих труб, применением обогреваемых труб одинаковой длины и имеющих равное гидравлическое сопротивление и проведением ряда других мероприятий конструктивного характера.

Для лучшего отделения воды от пара (сепарации) следует правильно выбирать размеры барабанов и надлежащим образом распределить по его образующим пароводящие и водоподводящие трубы, устройства для продувки. Кроме того, в верхнем барабане или вне его устанавливают специальные приспособления для осушки пара. В некоторых случаях для защиты турбин, арматуры и труб пароперегревателя от отложений применяют устройства для промывки пара питательной водой.

Для удаления накапливающегося при работе котлоагрегата шлама в соответствующих элементах агрегатов устанавливают устройства для продувки; воздух и газы, выделяющиеся из воды, удаляются через воздушники.

Перечисленные выше процессы принято называть внутрикотловыми, и хотя они протекают совместно, их рассматривают отдельно, выделяя процессы образования отложений, шлама, удаления газов (гл. 9). Условия надежного охлаждения рабочим телом обогреваемых поверхностей — гидродинамику и циркуляцию — рассматривают отдельно. Здесь же рассмотрены естественная циркуляция и гидродинамика.

Естественной циркуляцией называется движение теплоносителя по замкнутому контуру, состоящему из обогреваемых и необогреваемых труб и коллекторов.

Движение теплоносителя возникает из-за разности плотностей теплоносителя в обогреваемой и необогреваемой частях контура. Уменьшение плотности теплоносителя в подъемной части контура по сравнению с его плотностью в опускных трубах возникает за счет обогрева. При дальнейшем нагреве теплоносителя часть его превращается в пар. Плотность пароводяной смеси значительно меньше плотности исходного теплоносителя, что еще более интенсифицирует движение в контуре.

Кроме того, пузырьки пара всегда легче жидкости, и поэтому они стремятся занять верхнее положение, поднимаются и увлекают за собой нагреваемую жидкость.

Упрощенная схема контура с естественной циркуляцией теплоносителя показана на рис. 4-2. Питательная вода поступает в барабан 1 и смешивается с находящейся внутри барабана котловой водой. При этом питательная вода нагревается, но температура воды, поступающей в опускные трубы 2, будет немного ниже температуры насыщения, соответствующей давлению в барабане. Вода, дойдя до нижнего коллектора 3, распределяется по обогреваемым экранным трубам 4, сечение которых в несколько раз больше сечения опускных труб. До момента закипания—точки начала парообразования—вода только подогревается. Затем начинается процесс образования пара на стенках обогреваемых труб. Отрывающиеся от стенки пузырьки сначала небольшого объема (рис. 4-2,а), поднимаясь вверх, соединяются, образуют так называемый снарядный поток (рис. 4-2,б); затем отдельные пузырьки сливаются, образуя в центре труб стержень (рис. 4-2,в) и оставляя на стенках обогреваемых труб слой воды, насыщенный солями. Если достигается предельная концентрация для каких-либо солей или их смесей, то они будут выпадать, образуя на стенках отложения.

Поскольку парообразование связано с увеличением объема, скорость пароводяной смеси возрастает и с некоторого момента пленка воды будет срываться со стенок труб в виде капель, которые за счет турбулентности потока распределяются по всему объему (рис. 4-2,г). При таком характере движения пароводяной смеси температура металла труб будет зависеть от количества капель жидкости, попадающих и испаряющихся на стенке. Температура металла может стать значительной по достижении определенной степени сухости пара, при низких его скоростях и высоких тепловых нагрузках.

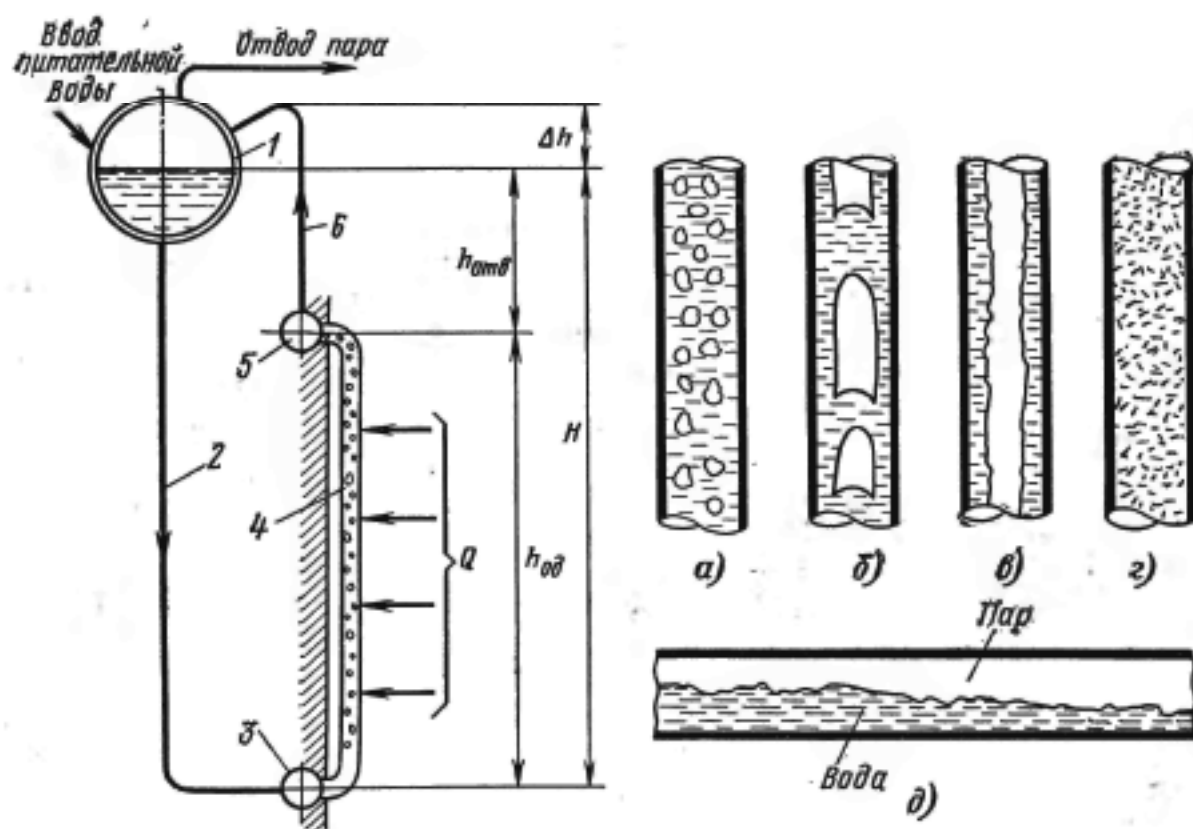


Рис. 4-2. Упрощенная схема контура естественной циркуляции и структура потока пароводяной смеси в трубах.

1 — барабан; 2 — опускные или подводящие трубы; 3 — нижний коллектор; 4 — обогреваемые подъемные трубы; 5 — верхний коллектор; 6 — отводящие трубы.

Из труб 4 пароводяная смесь поступает в верхний коллектор 5 и по отводящим трубам 6 направляется в барабан. Отделившаяся в барабане 1 вода смешивается с подаваемой питательной водой и снова поступает в опускные трубы 2, а пар отводится из барабана к потребителю непосредственно или через пароперегреватель.

Скорость поступления воды в обогреваемые трубы называют скоростью входа или скоростью циркуляции. Количество воды G , циркулирующей по контуру, обычно значительно больше количества образовавшегося в нем пара D .

Отношение за единицу времени количества циркулирующей воды к количеству полученного в контуре пара, кг воды/кг пара, называют кратностью циркуляции:

$$c = \frac{G}{D}. \quad (4.4)$$

Значение величины кратности циркуляции зависит от конструкции контура, давления в контуре, тепловой нагрузки обогреваемых труб и некоторых других факторов. В экранах кратность циркуляции составляет от 4 до 20; в контурах, состоящих из барабанов, соединенных пучками кипяtilьных труб, от 10 до 100.

Непрерывное движение воды и пароводяной смеси в трубах контура обеспечивает отвод теплоты от обогреваемых стенок, а перемешивание питательной и котловой воды выравнивает температуры элементов котлоагрегата, снижая уровень температурных напряжений.

Устойчивая естественная циркуляция обеспечивает надежность работы обогреваемых поверхностей, практически не отражаясь на количестве переданной теплоты, что видно из следующей приближенной формулы для определения температуры металла, °C:

$$t_m = t_{cp} + \frac{Q}{H} \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right). \quad (4.5)$$

В формуле:

t_{cp} — температура нагреваемой среды, °C;

Q/H — удельная тепловая нагрузка поверхности нагрева, Вт/м² или ккал/(м²·ч);

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к среде, определяемый по формуле (2-160) или рис. 2-24, 2-23;

δ_m и δ_2 — толщина стенки трубы и отложений, м;

λ_m и λ_2 — коэффициенты их теплопроводности.

Изменение величины α_2 с 2000 до 12000 Вт/(м²·К) или ккал/(м²·ч·°C) изменяет температуру стенки трубы при давлении 1,4 МПа (14 кгс/см²) в 1,5 раза (от 300 до 200°C), а коэффициент теплопередачи, определяемый по формуле (2-150), всего на 2%.

При расчете естественной циркуляции в контурах котлоагрегатов используются для установившихся режимов два основных положения: равенство массовых расходов воды и пароводяной смеси в опускной 2 и подъемной 4—6 части контура (см. рис. 4-2);

равенство сопротивлений контура движущим силам, возникающим из-за разности плотностей жидкости в опускной части контура и пароводяной смеси — в подъемной.

Первое положение может быть записано из условия, кг/с:

$$\sum w_{от} \rho' f_{от} = \sum w_{под} \rho_{см} f_{под} = \sum w_{отв} \rho'_{см} f_{отв} = G; \quad (4.6)$$

$$\sum w_{от} \gamma' f_{от} = \sum w_{под} \gamma_{см} f_{под} = \sum w_{отв} \gamma'_{см} f_{отв} = G.$$

В уравнении:

w — скорость воды или смеси, м/с;

f — сечение труб, м²;

ρ — плотность воды (или γ — удельный вес) или смеси, кг/м³.

Примечание. Удельный вес (обозначение — γ , размерность кгс/м³) определяется как вес единицы объема тела. Удельный вес тела зависит от ускорения силы тяжести в пункте его определения и, следовательно, не является параметром вещества.

Второе положение может быть записано, кПа или кгс/м²:

$$\Sigma p_{\text{пол}} = \Sigma \Delta p_{\text{оп}} \quad (4-7)$$

В уравнении:

$\Sigma p_{\text{пол}}$ — суммарный полезный напор контура;

$\Sigma \Delta p$ — общее сопротивление опускной части контура, кПа или кгс/м².

Полезный напор любой части контура определяется как разность между движущим напором $p_{\text{дв}}$ и его гидравлическими сопротивлениями $\Delta p_{\text{под}}$:

$$p_{\text{пол}} = p_{\text{дв}} - \Delta p_{\text{под}} \quad (4-8)$$

$$p_{\text{дв}} = H (\rho' - \rho_{\text{см}}^{\text{ср}}) = h_{\text{об}} (\rho' - \rho_{\text{см. об}}^{\text{ср}}) + h_{\text{отв}} (\rho' - \rho_{\text{см. отв}}), \quad (4-9)$$

$$\Delta p_{\text{под}} = \Sigma \Delta p_{\text{местн}} + \Sigma \Delta p_{\text{трени}} \quad (4-10)$$

В формулах (4-8) — (4-10) через H и h обозначены высоты контура и его частей, м, показанные на рис. 4-2;

ρ' — плотность воды (или γ' — удельный вес) в опускной части контура, кг/м³;

$\rho_{\text{см}}^{\text{ср}}$ — средняя плотность (или $\gamma_{\text{см}}$ — удельный вес) смеси в обогреваемых или отводящих трубах, кг/м³;

$\Delta p_{\text{местн}}$ — потери напора в местном сопротивлении, кПа или кгс/м²;

$\Delta p_{\text{трени}}$ — потери напора на трение в трубах, кПа или кгс/м².

Вид расчетных формул для определения потерь и полезных движущих напоров дается по методике, связывающей тепловой расчет с ги-

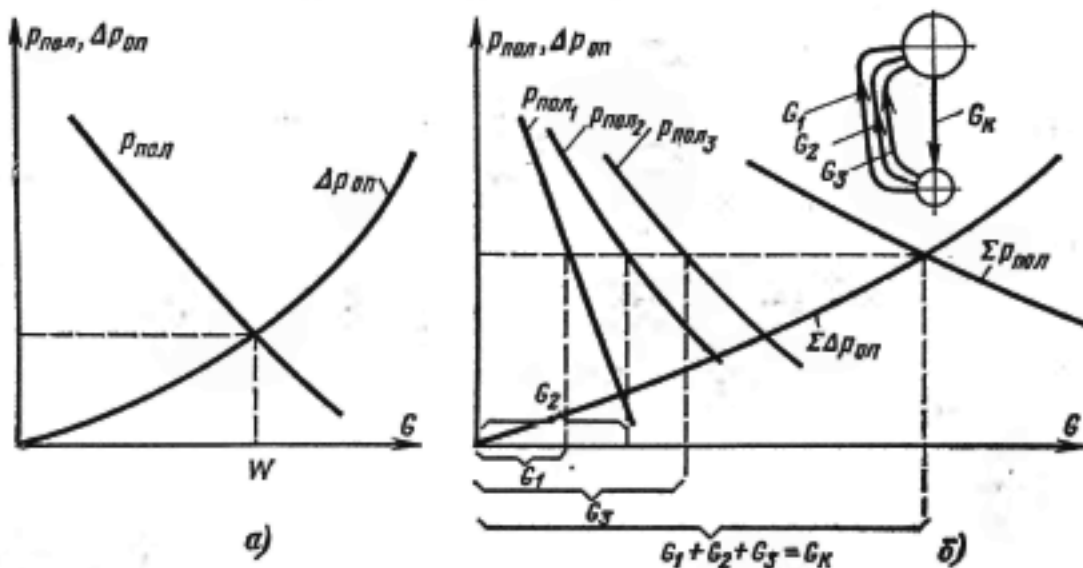


Рис. 4-3. Диаграмма естественной циркуляции в контурах: простом (а) и сложном (б).

гидродинамическим и называемой «Нормативный метод гидравлического расчета паровых котлов», и в [Л. 20].

Поскольку уравнения (4-6) и (4-7) могут быть решены подбором или с помощью электронно-вычислительных машин, для практических расчетов принято строить так называемые диаграммы циркуляции.

Для примера на рис. 4-3, а и б показаны диаграммы циркуляции для простого контура типа изображенного на рис. 4-2 и сложного, состоящего из нескольких контуров циркуляции, связанных между собой общими опускными трубами.

С помощью таких диаграмм циркуляции можно определить полезный движущий напор контура $p_{пол}$ (или $\Sigma p_{пол}$) и равное ему сопротивление опускной части $\Delta p_{оп}$ или $\Sigma \Delta p_{оп}$.

Для простых контуров вместо расхода по оси абсцисс можно отложить и определить скорость воды, т. е. скорость циркуляции. Для оценки качества естественной циркуляции, кроме значения кратности циркуляции и скорости входа, определяют еще несколько величин, позволяющих оценить возможности опрокидывания циркуляции в отдельных трубах или их рядах, образования застоя или свободного уровня жидкости, образования или попадания пара в опускные трубы и расслоения пароводяной смеси на горизонтальных участках труб (см. рис. 4-2, д).

Гидродинамика (или принудительное движение рабочего тела) имеет место в котлоагрегатах с принудительной и в части поверхностей нагрева — водяных экономайзерах и пароперегревателях котлоагрегатов с естественной циркуляцией. Например, в котлах-утилизаторах движение пароводяной смеси в элементах происходит за счет напора, создаваемого специальным насосом. В том случае, когда движение воды и пароводяной смеси в контуре осуществляется насосом, циркуляцию называют принудительной. Циркуляция может быть многократной или однократной, если вода в контуре полностью превращается в пар. В последнем случае кратность циркуляции равна единице, а рабочее тело движется в одном направлении (от входа только к выходу), т. е. прямотоком — котлоагрегаты с таким движением теплоносителя называются прямоточными.

Применение принудительного движения теплоносителя в поверхностях нагрева позволяет располагать их не только вертикально, но и горизонтально и обеспечивать как подъемное, так и опускное движение, применять трубы с меньшим внутренним диаметром (большим сопротивлением).

В том случае, когда теплоноситель не изменяет агрегатного состояния, расчет гидродинамики состоит из определения суммы потерь напора в местных сопротивлениях и потерь напора на трение — см. формулу (4-10). Потери напора в местных сопротивлениях складываются из падения давления в запорных задвижках, коллекторах, гйбах труб, переходах, где изменяются скорости и направления потока.

Потери напора в местном сопротивлении, кПа или кгс/см², определяют по формуле

$$\Delta p_{местн} = \xi \frac{w^2}{2} \rho \quad \text{или} \quad \Delta p_{местн} = \xi \frac{w^2}{2gv} \quad (4-11)$$

В формулах:

w — скорость за местным сопротивлением, м/с;

ρ — плотность, кг/м³;

ξ — коэффициент местного сопротивления, определяемый по справочникам к гидравлическим расчетам или по [Л. 20];
 v — удельный объем среды, м³/кг (см. табл. 2-11);
 g — ускорение силы тяжести, м/с².
 Величины коэффициентов местных сопротивлений приведены в табл. 4-1.

Таблица 4-1

| Коэффициенты сопротивления местные | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Вид местного сопротивления | Коэффициент ξ | | | | | | | | | | | | | |
| Коллекторы раздающие | | | | | | | | | | | | | | |
| При числе отводящих труб $n < 10$, подводе воды торцевом, угловым и рассредоточенном | 0,7 | | | | | | | | | | | | | |
| При $n > 15$ и подводе воды торцевом и угловым | 1,4 | | | | | | | | | | | | | |
| При числе подводящих труб до первой отводящей трубы $n \leq 2$ | 1,1 | | | | | | | | | | | | | |
| Коллекторы собирающие | | | | | | | | | | | | | | |
| С отводом торцевым, рассредоточенным, угловым | 0,4; 0,7; 0,9 | | | | | | | | | | | | | |
| При числе отводящих труб до первой подводящей трубы $n \leq 2$ | 1,1 | | | | | | | | | | | | | |
| Повороты | | | | | | | | | | | | | | |
| Угол поворота потока: | | | | | | | | | | | | | | |
| < 20° | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| от 20 до 60° | 0,1 | | | | | | | | | | | | | |
| от 60 до 140° | 0,2 | | | | | | | | | | | | | |
| > 140° | 0,3 | | | | | | | | | | | | | |
| Арматура | | | | | | | | | | | | | | |
| Вентиль проходной, литой: | | | | | | | | | | | | | | |
| с поворотом струи | 4,5 | | | | | | | | | | | | | |
| без поворота | 2—3 | | | | | | | | | | | | | |
| То же штампованный | 7,0 | | | | | | | | | | | | | |
| Клапан обратный | 7,0 | | | | | | | | | | | | | |
| Задвижка | 1,0—2,0 | | | | | | | | | | | | | |
| Коэффициенты сопротивления на трение приведенные λ_0 | | | | | | | | | | | | | | |
| $d_{\text{вн}}$ | 23 | 32 | 40 | 50 | 64 | 76 | 90 | 100 | 120 | 140 | 200 | 250 | 300 | 400 |
| λ_0 | 1,04 | 0,76 | 0,58 | 0,43 | 0,32 | 0,26 | 0,21 | 0,19 | 0,10 | 0,08 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,025 |

Потери напора на трение, кПа или кгс/м², определяют по формуле Дарси — Вейсбаха:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_{\text{вн}}} \frac{w^2}{2\rho}, \quad \Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_{\text{вн}}} \frac{w^2}{2gv} \quad (4-12)$$

В формуле:
 λ — коэффициент трения, зависящий при турбулентном движении от шероховатости, а при ламинарном и переходном — от числа Рейнольдса $Re = \frac{wd_{\text{вн}}}{\nu}$;

l и $d_{\text{вн}}$ — длина и внутренний диаметр труб.

Способ точного определения величин λ для обогреваемых труб дан в [Л. 20] и курсах гидравлики. Для расчетов удобнее пользоваться приведенным к диаметру коэффициентом трения $\lambda_0 = \lambda/d_{\text{вн}}$, который связан с величиной шероховатости труб. Значения приведенного коэффициента даны в табл. 4-1 для наиболее распространенных внутренних диаметров труб. В этой же таблице приведены и коэффициенты

некоторых местных сопротивлений коллекторов, гибов и арматуры. Пользуясь данными табл. 4-1 и формулами (4-10) — (4-12), можно определить падение напора или давления, развиваемого насосом, в котлоагрегатах и их элементах, а также во внешних трубопроводах для случая неизменяющегося агрегатного состояния теплоносителя.

В тех же случаях, когда в трубах происходит испарение и длина их значительна, можно написать следующее выражение для потерь на трение, кПа или кгс/м²:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_0 l_{\text{т.з}} \frac{G^2}{2f^2 \rho'} + \lambda_0 (l - l_{\text{т.з}}) \frac{G^2}{2f^2 \rho_{\text{см}}}, \quad (4-13)$$

или

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_0 l_{\text{т.з}} \frac{G^2 v}{2gf^2} + \lambda_0 (l - l_{\text{т.з}}) \frac{G^2 v_{\text{см}}}{2gf^2}.$$

В выражении, кроме ранее указанных величин, через $l_{\text{т.з}}$ обозначена длина трубы до точки закипания воды, м.

При постоянстве величины удельного обогрева единицы длины трубы q , кВт/м или ккал/(м·ч), величина $l_{\text{т.з}}$ зависит от расхода жидкости, м:

$$l_{\text{т.з}} = \frac{G (i' - i_{\text{вх}})}{q} = \frac{G \Delta i_{\text{эж}}}{q}, \quad (4-14)$$

где i' и $i_{\text{вх}}$ — энтальпии воды при температуре насыщения и на входе в трубу, кДж/кг или ккал/кг.

Для определения средней плотности пароводяной смеси в трубе на испаряющем участке примем, что количество пара прямо пропорционально длине этого участка. Тогда средний объем пароводяной смеси, м³/кг, будет определяться выражениями

$$v_{\text{см}} = v' + \frac{x (v'' - v')}{2} \quad (4-15)$$

$$x = \frac{q (l - l_{\text{т.з}})}{Gr}. \quad (4-16)$$

В выражениях:

v' и v'' — удельные объемы воды и насыщенного пара при данном давлении, м³/кг;

x — массовая доля пара в смеси;

r — теплота испарения, кДж/кг или ккал/кг.

Подставляя в выражение (4-13) величину $l_{\text{т.з}}$ по формуле (4-14) и $l_{\text{исп}} = l - l_{\text{т.з}}$, с учетом выражений (4-15) и (4-16) получим, кПа или кгс/м²:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{тр}} = & \frac{\lambda_0 (v'' - v') \Delta i_{\text{эж}}}{4f^2 q r} G^3 + \frac{\lambda_0 l}{2f^2} \left[v' - \frac{\Delta i_{\text{эж}}}{r} (v'' - v') \right] G^2 + \\ & + \frac{\lambda_0 (v'' - v') l^2 q}{4f^2 r} G. \end{aligned} \quad (4-17)$$

Если обозначить величины, стоящие перед параметром расхода жидкости G , коэффициентами A , B и C , то получим:

$$\Delta p_{\text{тр}} = AG^3 + BG^2 + CG, \quad (4-17a)$$

т. е. уравнение третьей степени, имеющее три корня, чему при каком-то перепаде могут соответствовать три значения расхода жидкости G .

Построенную по уравнению (4-17) кривую в координатах Δp и G называют гидродинамической характеристикой трубы или змеевика (рис. 4-4). В том случае, если минимальное значение расхода жидкости G_1 обеспечивает охлаждение металла труб до нужной температуры, такой расход допустим, а если не обеспечивает, то расход следует изменить.

Для превращения неустойчивой характеристики 1 в устойчивую 2 при всех режимах работы агрегата — пониженном давлении, растопке — увеличивают сопротивление змеевика конструктивно — постепенным

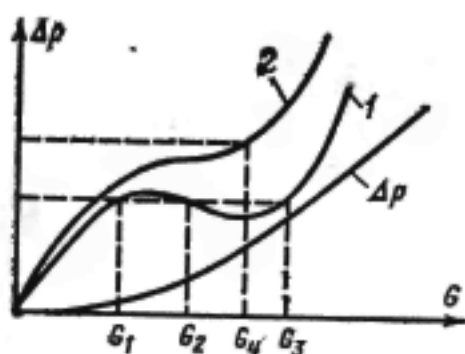


Рис. 4-4. Гидродинамическая характеристика витка котлоагрегата с многократной принудительной циркуляцией или проточного. 1 — неустойчивая; 2 — устойчивая; Δp — при отсутствии парообразования.

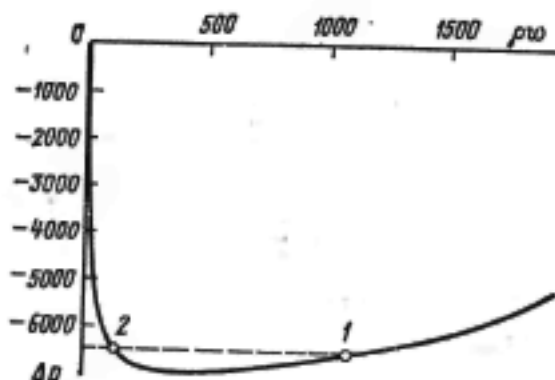


Рис. 4-5. Гидродинамические характеристики для экрана с подъемно-опускными панелями стального водогрейного котла типа ПТВМ-100. 1 — рабочая точка; 2 — точка закипания воды.

увеличением его диаметра по длине (изготовлением из труб с разными внутренними диаметрами или установкой диафрагм — шайб на входном участке). Это позволяет изменить величину коэффициентов A , B и C в уравнении (4-17а), так как к каждому из частей уравнения прибавляются потеря на трение или местные потери, которые зависят от расхода воды во второй степени.

В экранных трубах стальных водогрейных котлов часто применяют не только подъемное, но и опускное движение воды. Тогда в общий перепад давлений между коллекторами, кроме потерь напора на трение и в местных сопротивлениях, следует включить величину так называемого нивелирного напора, поскольку его значение сопоставимо с другими потерями, кПа или кгс/м²:

$$\Delta p_{\text{нив}} = h\rho \text{ или } \Delta p_{\text{нив}} = h\gamma, \quad (4-18)$$

где h — геодезическая высота между коллекторами, м.

В этих случаях падение давления в экранах с подъемными и опускными участками труб составит:

$$\Sigma \Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{местн}} \pm \Delta p_{\text{нив}}. \quad (4-19)$$

При движении воды вверх $\Delta p_{\text{нив}}$ принимается со знаком плюс, при опускном — со знаком минус. Другими словами, при положительном нивелирном напоре перепад между коллекторами возрастает и, наоборот, при отрицательном — уменьшается.

Если построить по уравнению (4-19) гидродинамическую характеристику панели с подъемным и опускным движением воды в ней, то получим кривую, изображенную на рис. 4-5. В том случае, когда расход через экран с опускными трубами уменьшится по сравнению с нормаль-

ной величиной, которой соответствует массовая скорость $w_p=1350$, до 150 кгс/м^2 , вода в экране может закипеть и ее движение прекратится, а трубы будут повреждены.

С ростом удельной тепловой нагрузки труб с опускным движением воды и уменьшением скорости в них вероятность повреждений увеличивается. Поэтому для стальных водогрейных котлов проводят выбор скоростей воды в экранах с подъемным движением в пределах $0,6—0,8 \text{ м/с}$, с опускным — $1,2—1,6 \text{ м/с}$ и в конвективных пакетах с указанными видами движения соответственно $0,5—0,6$ и $1,0—1,2 \text{ м/с}$.

4-3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО И ЧИСТОГО ПАРА. СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

Пар, выходящий из барабанов котлоагрегатов, не должен содержать значительного количества влаги, солей, шлама, так как часть поверхности пароперегревателя будет местом испарения и выпадения содержащихся в воде солей, и металл труб может быть поврежден. Могут иметь место нарушения плотности соединений, а при бросках влаги — гидравлические удары и даже разрушения паропроводов.

В паре могут содержаться нелетучие и летучие вещества. Нелетучие вещества обычно попадают в пар из котловой воды, в которой они находятся в растворенном виде или взвешенном состоянии. Растворимость их в паре низкого давления мала. Летучие вещества — аммиак NH_3 , двуокись углерода CO_2 , азот N_2 и водород H_2 — содержатся в виде газов и не дают отложений. Двуокись углерода, соединяясь с кальцием, может давать отложения. Аммиак, попадая в теплообменники с латунными трубками, вызывает их обесцинкование и разрушение; кроме того, аммиак токсичен. Двуокись углерода может вызвать коррозию; окислы железа дают шлам и отложения на обогреваемых поверхностях нагрева.

В связи с этим к пару предъявляются определенные требования по общему содержанию солей, пересчитанному на натрий: при давлении до $1,4 \text{ МПа}$ (14 кгс/см^2) — $1,0 \text{ мг/кг}$; до $2,2 \text{ МПа}$ (22 кгс/см^2) — $0,5 \text{ мг/кг}$ и до $4,5 \text{ МПа}$ (45 кгс/см^2) — $0,3 \text{ мг/кг}$. Следовательно, с ростом давления ужесточаются требования к качеству пара.

Загрязнение пара веществами происходит главным образом за счет выноса примесей, содержащихся в питательной и котловой воде. Для получения пара необходимого качества питательную воду очищают различными способами и отделяют влагу от пара путем сепарации. Увеличению влажности пара способствует неправильный режим подачи воды в барабан — его перепитка, резкие колебания давления пара, несоблюдение требований, предъявляемых к качеству питательной воды. В частности повышение ее щелочности, например, приводит к образованию и уносу пены из-за уменьшения объема парового пространства. Если пар попадает под уровень воды, то пузырьки пара, выходя на поверхность воды — зеркало испарения, разрывают оболочку и образуют крупные и мелкие капельки, выносимые в паровое пространство.

При поступлении пароводяной смеси из труб в паровое пространство, кроме образования капель за счет разрыва оболочек пузырей пара, происходят удары струй воды о поверхность уровня, стенки барабана и расположенные в объеме детали.

Увеличение солесодержания котловой воды повышает ее поверхностное натяжение, что приводит к явлению набухания воды пузырями пара и росту его влажности. Повышение давления в барабане ухудшает

осаждение мелких капель. Большой диаметр барабана, низкое расположение уровня воды в нем позволяют иметь большую высоту парового пространства. Капли влаги, вынесенные в паровое пространство, потеряв начальную скорость и объединившись на пути с другими каплями в большом объеме, будут выпадать быстрее. Чем больше действительная высота парового пространства, тем лучше при прочих равных условиях будет происходить естественная сепарация. Наилучшая сепарация для обычных нагрузок зеркала испарения в котельных агрегатах низкого и среднего давлений достигается на высоте 0,6—1,0 м, вследствие чего внутренний диаметр барабана обычно составляет 1,2—1,6 м. В прежних конструкциях котлов низкого давления влажность пара составляла 3—5%; теперь же она не превышает 0,5% и снижается с ростом давления до 0,1—0,2%.

Увеличение содержания солей в котловой воде не только приводит к набуханию, но и по достижении определенной величины (критической) вызывает резкий рост уноса влаги. До этого содержания солей унос влаги примерно пропорционален содержанию солей в котловой воде. Загрязнение пара летучими веществами при низких и средних давлениях пара незначительно из-за малой растворимости солей в паре.

Для осуществления естественной сепарации пара, уменьшения уноса капель и получения сухого и чистого пара важно равномерное распределение выхода пара из экранных и кипяtilьных труб по длине барабана, предупреждение ударов струй воды о стенки и устройства

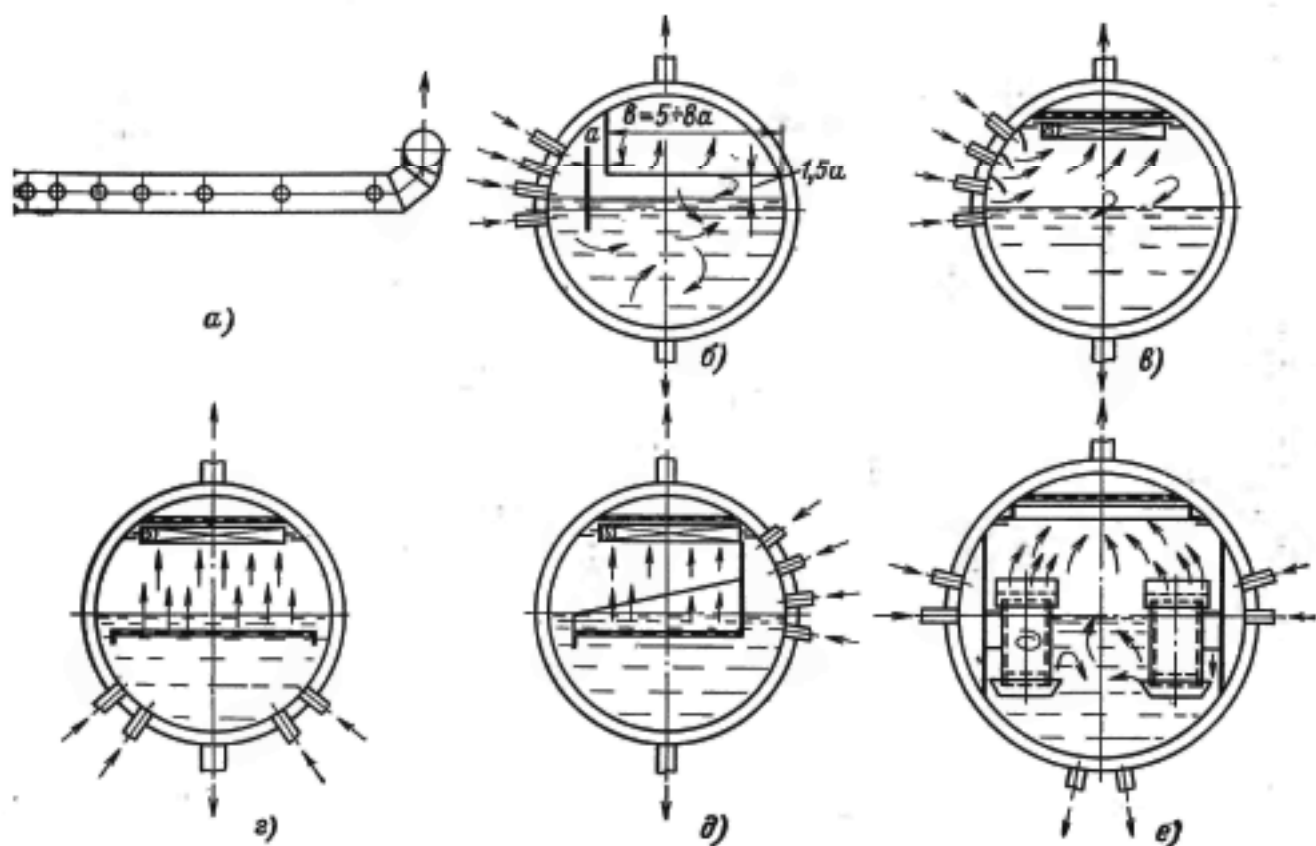


Рис. 4-6. Принципиальные схемы сепарирующих устройств в паровых котлах низкого и среднего давлений.

а — труба с отверстиями; *б* — отбойные щитки; *в* — отбойные щитки, жалюзийный сепаратор и дырчатый лист; *г* — утопленные листы, жалюзийный сепаратор с дырчатым листом; *д* — щитки, утопленный лист и жалюзийный сепаратор с дырчатым листом; *е* — внутрибарабанные циклоны, жалюзийный сепаратор и дырчатый лист (иногда циклоны размещены вне барабана — выносные циклоны).

в барабане, о зеркало испарения и равномерная загрузка барабана. Необходимо также обеспечение равномерного отбора пара по длине барабана для получения низких скоростей пара в паровом пространстве барабана, где происходит первичное отделение влаги. Однако естественной сепарации влаги для получения сухого пара недостаточно. Дальнейшее улавливание влаги осуществляют механической сепарацией в устройствах, в которых используются силы инерции, центробежные силы, смачивание и поверхностное натяжение слоя жидкости. Такие устройства позволяют уловить капельки воды, вынесенные из парового пространства.

Принципиальные схемы сепарирующих устройств в барабанах котлоагрегатов низкого и среднего давлений показаны на рис. 4-6.

Простейшей из них является труба в паровом пространстве барабана с отверстиями разного диаметра на боковых образующих, распределенными неравномерно по длине для лучшей сепарации в объеме (схема рис. 4-6,а). Скорость пара в трубе (конечную) принимают 30—40 м/с, скорость в отверстиях принимают большей скорости в трубе. Вместо установки трубы можно отделить часть парового пространства листом и выполнить в нем отверстия по тому же принципу, что и в трубе. При надлежащей высоте парового пространства, равномерном подводе пароводяной смеси и отборе пара по длине барабана иногда достаточной является установка отбойных щитков (схема рис. 4-6,б).

Для получения лучших результатов сепарации пара можно сочетать установку отбойных щитков с установкой перфорированных листов перед трубами, отводящими пар. Часто перед этим листом устанавливают жалюзи, в которых пар, изменяя несколько раз направление движения, заставляет воду по инерции осаждаться на стенках листов жалюзи. Такая схема изображена на рис. 4-6,в.

Если пароводяная смесь входит в барабан под уровень воды, то равномерного распределения пара можно достигнуть, установив под уровнем воды лист с отверстиями, а для очистки пара подать на этот лист питательную воду.

В верхней части барабана, как это видно из схемы рис. 4-6,г, устройства могут быть сохранены такими же, как и на предыдущей схеме. При вводе пароводяной смеси под и над уровнем целесообразно схему рис. 4-6,г дополнить отбойными щитками, схема рис. 4-6,д) против труб, по которым пароводяная смесь поступает в барабан.

При больших нагрузках внутри барабана для получения пара высокого качества на вводе пароводяной смеси устанавливают циклоны, в которых при закручивании потока отделившаяся вода по стенкам стекает вниз, а пар через жалюзи на крышке циклона выходит в паровое пространство; под циклоном выполняют поддон, предупреждающий проход пара вниз. Перед пароотводящими трубами из барабана, как это видно из схемы рис. 4-6,е, устанавливают лист с отверстиями и жалюзи.

Так как качество пара, выходящего из барабана, зависит от содержания котловой воды, то значение величины содержания ограничивают, удаляя накапливающиеся соли вместе с горячей водой, осуществляя продувку.

Если удаление воды с солями выполняется постоянно, продувку называют непрерывной. В нижних элементах котлоагрегата — нижних коллекторах экранов, в нижнем барабане — при работе и особенно при малых нагрузках и при останове может скапливаться шлам. Для его удаления при растопках и пониженных нагрузках из нижних точек

проводят продувку, которую называют периодической или шламовой.

Поскольку при продувке теряется не только вода, но и теплота, величину продувки ограничивают.

Способ, дающий возможность получать пар высокого качества при небольших размерах продувки, названный ступенчатым испарением, был предложен в СССР проф. Э. И. Роммом в 1937 г. и получил широкое распространение. Сущность этого способа состоит в разделении поверхностей нагрева, коллекторов и барабанов на части, в которых происходит постепенное упаривание воды. Питательную воду подают в первую часть, называемую чистым отсеком, который производит 80—85% пара; в нем поддерживают определенное и невысокое солесодержание котловой воды за счет увеличенной продувки во вторую часть — соленый отсек. Пар из чистого отсека будет удовлетворительного качества, а котловая вода в соленом отсеке будет иметь повышенное солесодержание, что и уменьшит размер продувки. Пар же из соленого отсека

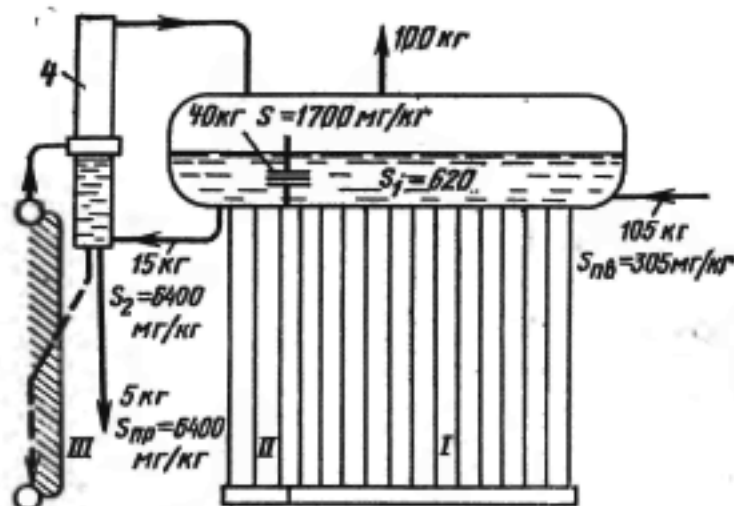


Рис. 4-7. Принципиальная схема ступенчатого испарения воды в паровом котле.

Поверхности нагрева в первой (I); второй (II); третьей (III) ступени испарения; 4 — выносной циклон.

будет невысокого качества и потребует хорошей очистки, но его будет немного — 15—20%; поэтому общее качество пара, выдаваемого котлоагрегатом, будет удовлетворительным. Обычно ступенчатое испарение осуществляют в двух, реже — трех ступенях [Л. 15].

На принципиальной схеме, показанной на рис. 4-7, изображено трехступенчатое испарение котловой воды в котлоагрегате, имеющем котельный пучок (I ступень испарения); фестон и задний экран (II ступень) и боковые экраны (III ступень испарения), пар из которых поступает в вынесенный из барабана циклон-сепаратор, а из последнего идет в барабан. Производительность I ступени $n_1=70\%$, II ступени — $n_2=20\%$ и III ступени $n_3=10\%$ общей производительности котлоагрегата.

Уравнение баланса солей для котлоагрегата с трехступенчатым испарением при солесодержании питательной воды $S_{п.в.}$, воды в чистом отсеке S_1 , соленом отсеке S_2 и циклоне $S_{пр}$ при величине продувки p будет иметь вид:

$$(100 + p) S_{п. в.} = (n_1 + n_2 + p) S_1 = (n_1 + p) S_2 = p S_{пр}. \quad (4-20)$$

Из этого уравнения можно найти процент продувки и солесодержание котловой воды в каждом из отсеков.

Продувка котлоагрегата p , %, составит:

$$p = \frac{100 S_{п. в.}}{S_{пр} - S_{п. в.}}$$

Солесодержание воды в чистом отсеке барабана, мг/кг, будет:

$$S_1 = \frac{S_{п. в.} (100 + p)}{n_1 + n_2 + p}$$

во II ступени испарения аналогично

$$S_2 = \frac{S_{п.в} (100 + p)}{n_2 + p},$$

в III ступени и в продувке

$$S_{пр} = \frac{S_{п.в} (100 + p)}{p}.$$

Наличие трех ступеней испарения при продувке в 5% даже при солесодержании питательной воды в 500 мг/кг позволяет иметь солесодержание в продувке

$$S_{пр} = \frac{500 (100 + 5)}{5} = 10\,500 \text{ мг/кг.}$$

Из схемы на рис. 4-7 и формулы (4-20) видна эффективность применения ступенчатого испарения, особенно при повышенном содержании солей в питательной воде.

Из-за возможного образования отложений на поверхностях нагрева больше трех ступеней испарения не делают. В СССР все котельные заводы изготавливают котлоагрегаты со ступенчатым испарением.

Глава пятая

КОТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

5-1. ТИПЫ, ПАРАМЕТРЫ И ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОТЛОАГРЕГАТОВ

Все котельные агрегаты можно разделить на два основных вида: паровые и водогрейные.

Основные схемы промышленных паровых котлов, агрегатов и направления их развития показаны на рис. 5-1 а—г.

Применявшиеся для получения водяного пара в прошлом веке агрегаты имели простейшую форму шара и барабана (цилиндра). По мере увеличения производительности и рабочего давления простейшие формы парового котла были заменены более сложными. В агрегатах появляются сначала трубы жаровые, а затем дымогарные (или их комбинация), увеличивающие поверхность нагрева. Так, появились жаротрубные котлы с одной и несколькими жаровыми трубами, выпускаемые до настоящего времени (см. рис. 5а, б и [Л. 13]).

Дальнейшим этапом развития цилиндрических котлов являются размещение топочной камеры в начальной части жаровой трубы или специально запроектированной для топочного устройства огневой коробке и выполнение конвективных поверхностей из дымогарных труб. По этому принципу сконструированы паровые судовые оборотные, локомотивные и паровозные котлы. Такого типа паровые котлы с горизонтальным и вертикальным расположением жаровых и дымогарных труб выпускаются в настоящее время.

Другим направлением в развитии паровых котлов было деление обогреваемых цилиндров, заполненных водой и пароводяной смесью, на более мелкие. Такое деление привело к созданию батарейных паровых котлов, состоящих из трех, шести и девяти цилиндров.

Уменьшение диаметра труб, обогреваемых снаружи дымовыми газами, привело к созданию так называемых водотрубных котлов. Водотрубные котлы первоначально выполнялись из пучка труб, слабо наклоненных к горизонтали (на 10—15°) и объединяемых по концам камерами, которые присоединялись к одному или нескольким, расположенным горизонтально, барабанам. Для возможности очистки от накипи и замены трубы, крепящейся в камере развальцовкой, против каждого ее конца в стенке камеры устанавливается специальный лючок с крышкой. Такая конструкция позволила увеличить поверхность нагрева почти в 2 раза, поднять давление с 0,8—1,0 МПа до 1,5 (с 8—10 до 15 кгс/см²) и повысить удельный паросъем с 0,006 до 0,008—0,1 кг/с или 20 до 30—35 кг/(м²·ч) (рис. 5-1а, б, в).

трубы для золошлакопроводов выбираются с толщиной стенки до 12 мм, диаметром 250—400 мм и укладываются над землей на опорах. Скорость движения шлакозоловой смеси с водой принимается в пределах 1,6—2,0 м/с, причем до начала и после окончания откачки пульпы золошлакопровод должен быть промыт чистой водой и дренирован.

Для удлинения срока службы золошлакопровод через каждые 1—2 года поворачивают вокруг оси на угол 45—60° и заваривают изношенные участки. Места для отвала шлака и золы выбираются в оврагах, на склонах холмов и на подобных территориях, позволяющих обеспечить работу котельной в течение 25 лет, а при использовании шлака и золы в качестве сырья и раздельном их складировании — на 3 года.

Таблица 7-5

Ориентировочные технико-экономические показатели систем шлакозолоудаления

| Система шлакозолоудаления | Максимально допустимый размер куска, мм | Удельные расходы на 1 т шлака и золы | | | Затраты, % | |
|-----------------------------------|---|--------------------------------------|------------|-------------------------|-------------|------------------|
| | | воды, м ³ /т | пара, кг/т | электроэнергии, кВт·ч/т | капитальные | эксплуатационные |
| А. Ручное (вагонетками) | Не ограничен | 0,1—0,2 | — | 0,1—0,2 | 10 | 635 |
| Механизированное сухое скрепером | <200 | — | — | 4—7 | 100 | 100 |
| " " скребками | <100 | — | — | 0,7—1,2 | 68 | 75 |
| Механизированное мокрое скрепером | <200 | 0,1—0,5 | — | 5—8 | 110 | 105 |
| " " скребками | ≤100 | 0,1—0,5 | — | 1,0—1,5 | 75 | 80 |
| Б. Пневматическое всасывающее | 20—30 | 0,1—0,2 | 100—170 | 8—15 | 40 | 100 |
| Гидравлическое с багерными и | 60—100 | 10—30 | — | 7—12 | 110 | 100 |
| песковыми насосами | | | | | | |
| Гидравлическое с аппаратами | 60—150 | 15—45 | — | 20—25 | 100 | 150 |
| Москалькова | | | | | | |

Примечание. В строке А на 100 % приняты капитальные затраты для всасывающей установки; в Б—с гидрозлеваторами Москалькова.

Вода после золоотвала до попадания в водоемы должна быть осветлена и нейтрализована до норм, установленных Госсанинспекцией СССР. Для предварительной оценки при выборе системы шлакозолоудаления можно воспользоваться табл. 7-5 с ориентировочными технико-экономическими показателями.

Глава восьмая

ТЯГА И ДУТЬЕ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

8-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Во введении и на рис. В-1 и В-2 было показано, что продукты сгорания топлива удаляются из котельного агрегата за счет тяги (разрежения), создаваемого с помощью либо дымовой трубы, либо трубы и дымососа. Эти устройства преодолевают сопротивление котельной установки движению потока газов, иногда содержащего твердые частицы.

Сопротивления или потери давления газов и воздуха вызываются трением об ограждения, сопротивлением в местных устройствах, пучках труб или при изменениях сечения.

Работа внешних сил, приложенных к элементарной частице в потоке, затрачивается на преодоление сил сопротивления и на увеличение