Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Нижегородский государственный технический университет

Кафедра строительной механики корабля и сопротивления материалов

Рекомендации к выбору типа опорных закреплений элементов судового набора

Методическое пособие
по курсу строительной механики корабля
для студентов кораблестроительного факультета
специальностей «Кораблестроение» (140100)
и «Динамика и прочность машин» (071100)
дневной формы обучения

Н. Новгород, 2005

Составители: В.Д. Вешуткин, Т.В. Моисеева

УДК [629.12:539.4](075)

Рекомендации к выбору типа опорных закреплений элементов судового набора: Методическое пособие *по курсу строительной механики корабля* для студентов кораблестроительного факультета специальностей «Кораблестроение» (140100) и «Динамика и прочность машин» (071100) дневной формы обучения / НГТУ; Сост.: В.Д. Вешуткин, Т.В. Моисеева. - Н.Новгород, 2005.- 20 с.

Методическое пособие предназначено для студентов кораблестроительного факультета при проведении практических занятий и лабораторных работ по курсу «Строительная механика корабля» и содержит расширенное представление об условиях выбора типа опорных закреплений элементов судового набора.

Научный редактор В.М. Волков

Редактор Э.Б. Абросимова

Подписано в печать 15.09.2005. Формат 60 x 84 $^{1}/_{16}$. Бумага газетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 564.

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ. 603600, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. К. Минина, 24.

© Нижегородский государственный технический университет, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....4

Выбор типа опорного закрепления в узлах соединения судового набора.....4

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Классификация элементов судового набора.....10

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Классификация судовых перекрытий.....12

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Взаимодействие элементов судового набора при передаче внешних усилий 14

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Типы опорных закреплений.....16

ВЕДЕНИЕ

Предлагаемое методическое пособие предназначено для студентов кораблестроительного факультета при проведении практических занятий и лабораторных работ по курсу «Строительная механика корабля» и содержит ***расширенное представление об условиях выбора типа опорных закреплений элементов судового набора.***

При расчетах на местную прочность балок судового набора встает вопрос о ***критериях выбора*** типа опорных закреплений в узлах судовых конструкций.

На основании инженерного опыта [3],[4] в данном пособии даны рекомендации к обоснованному выбору типа закреплений, который зависит от ***назначения судовой балки в схеме передачи внешних усилий*** и от ***соотношения жесткостей элементов*** в узлах судовых конструкций.

В **ПРИЛОЖЕНИЯХ** даны краткие сведения об элементах судового набора и принципах их взаимодействия, а также приведена полная классификация опорных закреплений.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ϖ - ***прогиб*** в сечении балки;

ϖ' - ***угол поворота*** сечения балки;

$EJ\varpi'' = M(x)$ - ***изгибающий*** момент;

$EJ\varpi''' = V$- ***срезывающая*** сила;

f - ***просадка*** опоры;

R- ***реактивное*** усилие на опоре;

M - ***реактивный*** опорный момент.

ВЫБОР ТИПА ОПОРНОГО ЗАКРЕПЛЕНЯ В УЗЛАХ СОЕДИНЕНИЯ СУДОВОГО НАБОРА

Одним из важных вопросов местной прочности является схематизация конструкций. При оценке прочности балок судового набора в учебной и справочной литературе приведен ряд примеров расчета холостых и рамных балок. Опорные закрепления этих балок выбираются по рекомендациям Российского Речного Регистра [1] и Российского Морского Регистра Судоходства [2]. Для понимания

обусловленности применения того или иного прототипа в данном пособии приведена последовательность действий при выборе типа опорного закрепления:

1- Определяют тип перекрытия, в состав которого входит балка ***(прил. 1, прил.2)***;
2- Изучают (составляют) схему передачи внешних усилий элементами судового набора ***(прил. 3)***;
3- Определяют жесткость соединяемых элементов;
4- Записывают граничные условия для балки в узле;
5- Выбирают тип опорного закрепления ***(прил. 4)***.

Рассмотрим примеры выбора опорных закрепления для различных узлов судового набора.

Пример 1

На рис.1, *а* показан холостой шпангоут (1), который крепится кницами (2,3) к ребру жесткости (4) и флору (5). Этот шпангоут пересекается с бортовым стрингером (6). На рис. 1, *б* показано образование прогиба ***f*** продольного ребра жесткости (4) на конце соединительной кницы (2).

На рис.1, *в* показано образование угла поворота ϖ' в узле ***D***.

На рис. 1, *г* дано единичное состояние; на рис 1, *д* приведена схематизация конструкции холостого флорного шпангоута с установкой выбранных опор в узлах соединений ***B, C, D***.

Классификация балок судового набора дана в ***прил.1***.

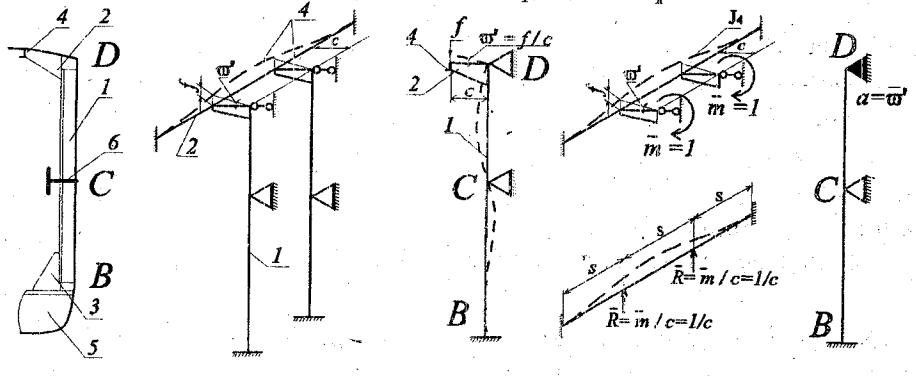
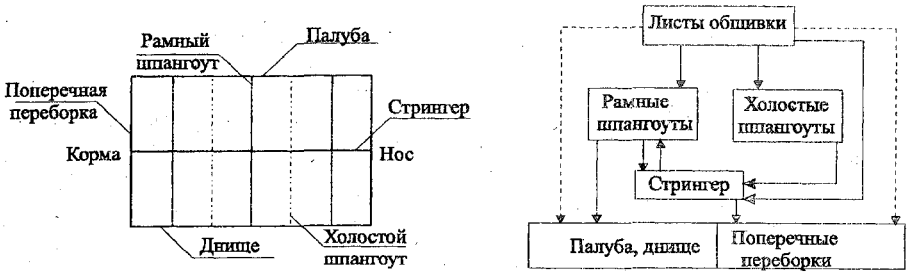


Рис.1. Холостой шпангоут

Холостой шпангоут (1) входит в конструкцию бортового перекрытия (рис.2, *а*). Схема передачи усилий элементами бортового перекрытия соответствует схеме, представленной на рис.2 *б*. Внешние усилия передаются от листов обшивки на холостые и рамные шпангоуты (частично на палубу, днище и переборки), а затем на бортовой стрингер и далее на переборки. Рамные шпангоуты передают усилия на днище и палубу.



а *б*

Рис.2. Бортовое перекрытие:
а - система набора; *б* - схема передачи усилий

Типовые схемы передачи усилий элементами судового набора даны в ***прил. 3***.

Рассмотрим выбор опорных закреплений в узлах ***B,C,D*** (Рис. 1).

Узел *D*

В узле ***D*** (рис. 1, *б*) усилия, передаваемые соединительной кницей (2), вызывают прогиб f продольного ребра жесткости (4). Кницу в этом случае можно считать жестким (недеформируемым) элементом.

В узле ***D*** возникает угол поворота $\varpi' = f/c$, который зависит от жесткости продольного ребра (4) и от размеров соединительной кницы (2) (см. рис 1, *б*, *в*).

Граничные условия для шпангоута в узле ***D*** имеют вид

$$\varpi = 0; \qquad \varpi' = aM \qquad (1)$$

Коэффициент податливости при повороте a определяется из единичного состояния (рис.1, *г*). Например, для узла ***D*** можно получить следующее выражение для коэффициента податливости при повороте: $a = \frac{8s^3}{81EJ_4c^2}$.

Граничные условия (1) определяют выбор опоры в узле ***D*** ***(см. прил.4)*** – это опора, упруго препятствующая повороту (см. рис 1, *д*).

Узел *B*

Так как жесткость шпангоута (1) много меньше жесткости флора (с допустимой для практики точностью), то флор полностью устраняет прогиб и поворот сечения шпангоута. В этом случае граничные условия в узле ***B*** будут иметь вид

$$\varpi = 0; \qquad \varpi' = 0 \qquad (2)$$

Граничные условия (2) определяют выбор опоры в узле В ***(см. прил.4)*** – это жесткая заделка (см. рис 1, *д*).

Узел *C*

Рассматриваемый холостой шпангоут (1) опирается на бортовой стрингер (6), который полностью устраняет прогиб холостого шпангоута, так как его жесткость значительно больше жесткости шпангоута и не препятствует повороту сечения шпангоута, поскольку стрингер имеет открытый тонкостенный профиль, практически не препятствующий его закручиванию. В таком случае граничные условия в узле ***C*** имеют вид

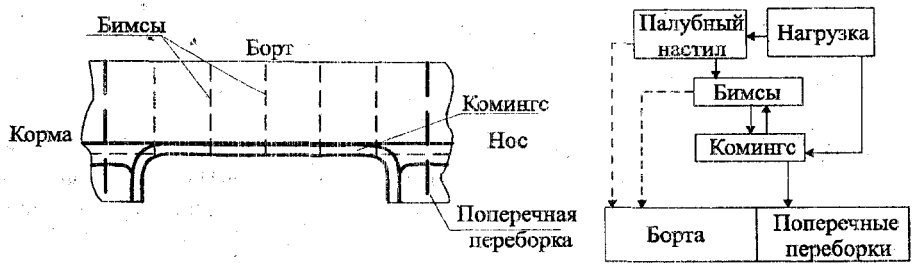
$$\varpi = 0; \qquad \varpi' \neq 0; \qquad EJ\varpi'' = M(x) = 0 \qquad (3)$$

Граничные условия (3) определяют выбор опоры в узле ***C*** ***(см. прил.4)*** – это свободная жесткая опора (см. рис 1, *д*).

Пример 2

Рассмотрим конструкцию палубного перекрытия в районе грузового люка (рис.3, *а*). Продольный комингс опирается на поперечные переборки и частично на бимсы, которые разгружают его. Бимсы соединяются с бортовой ветвью шпангоута и с комингсом посредством книц (рис. 4, *а*).

На рис. 3, *б* показана схема передачи усилий, возникающих в конструкции палубного перекрытия, расположенного в районе грузового люка. Усилия люковых крышек передаются на комингс, который передает нагрузку на переборки и частично на бимсы. Бимсы дополнительно нагружают шпангоуты борта.

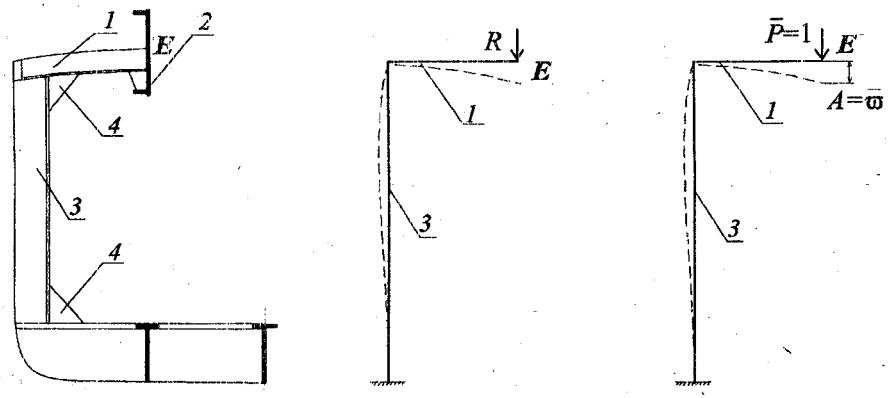


а *б*

Рис.3. Палубное перекрытие в районе грузового люка:
а - конструктивное исполнение; *б* - схема передачи усилий

На рис. 4 показан рамный шпангоут, на который в узле ***E*** действует сосредоточенная сила ***R*** , обусловленная весом крышек комингса и груза.

Определим граничные условия для узла ***E*** и обоснуем выбор типа опорного закрепления.



а *б* *в*

Рис. 4. Рамный шпангоут в районе грузового люка, не подкрепленный бортовым стрингером:
1- бимс; *2*- комингс; *3*- рамный шпангоут; *4*- кница
а- конструктивное исполнение; *б* - грузовое состояние;
в - единичное состояние

Рассмотрим схему деформации шпангоута и бимса (см. рис. 4, *б*), а также ориентировочную упругую линию комингса (рис. 5), на основании чего можно записать граничные условия в рассматриваемом узле *E*:

$$\varpi = -AR; \qquad \varpi' \neq 0 \qquad (4),$$

где: ***A*** – коэффициент податливости при просадке,
R – реакция бимсов,
Q – нагрузка на комингс.

Для определения коэффициента податливости при просадке ***A*** в узле ***E*** прикладывают единичную силу $\overline{P} = 1$ и получают прогиб узла ***E***, численно равный ***A*** (рис. 4, *б*).

Граничные условия (4) определяют выбор опоры в узле ***E*** ***(см. прил.4)***

– это упруго проседающая опора

Исходя из этого можно представить комингс опирающимся на опоры, упруго препятствующие просадке в узлах пересечения с бимсами (см. рис. 5).

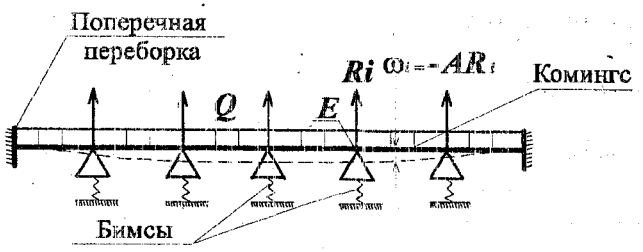


Рис. 5. Схематизация конструкции комингса, входящего в состав палубного перекрытия в районе грузового люка

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОГО НАБОРА

Корпус судна представляет собой непроницаемую ***оболочку***, состоящую из тонких листов, которые подкрепляются ***балками***, выполненными из прокатных или сварных профилей.

Совокупность листов, образующих

- верхнюю поверхность оболочки, называют ***палубой***,
- нижнюю поверхность – ***днищем***,
- боковые поверхности – ***бортами*** (рис. 7, 8).

Балки набора корпуса различают в зависимости от:

- ориентации;
- силовой функции;
- принадлежности той или иной плоскости оболочки.

По *ориентации* балки разделяют на ***продольные и поперечные***.

По *силовым функциям* на ***легкие (холостые) и рамные***.

Продольные легкие - балки называют ***ребрами жесткости (продольные балки)***.

Продольные рамные балки (рис 7, 8):

- днищевые – ***кильсоны***, (днищевые стрингеры для морских судов);
- палубные – ***карлингсы***.

Поперечные легкие балки (рис 7, 8):

- по борту – ***холостые шпангоуты***;
- по днищу –днищевые ветви ***холостых шпангоутов***;
- под палубой – ***бимсы***.

Поперечные рамные балки (рис. 7, 8):

- по борту – рамные ***шпангоуты***;
- по днищу – ***флоры***;
- под палубой – рамные ***бимсы***.

Для соединения балок устанавливают треугольные соединительные элементы – ***кницы***, которые одновременно обеспечивают плавность перехода в узлах пересечения балок.

По длине и ширине судно делится на отсеки продольными и поперечными ***переборками***.

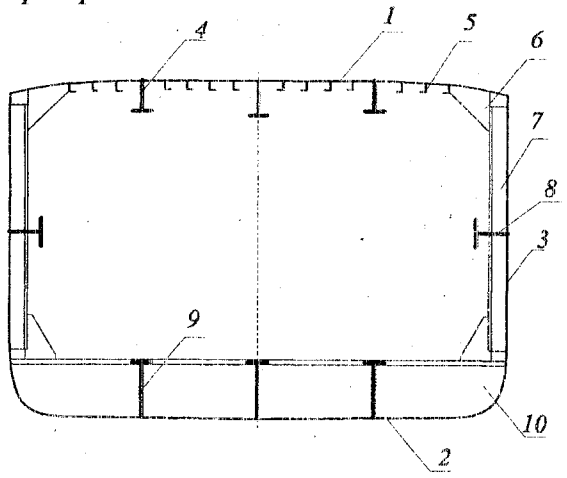


Рис.7. Холостой флорный шпангоут:
1- палуба; *2*- днище; *3*- борта; *4*- карлингсы; *5*- ребра жесткости палубы; *6*- кницы; *7*- холостой шпангоут; *8*- бортовой стрингер; *9*- кильсоны; *10*- флор.

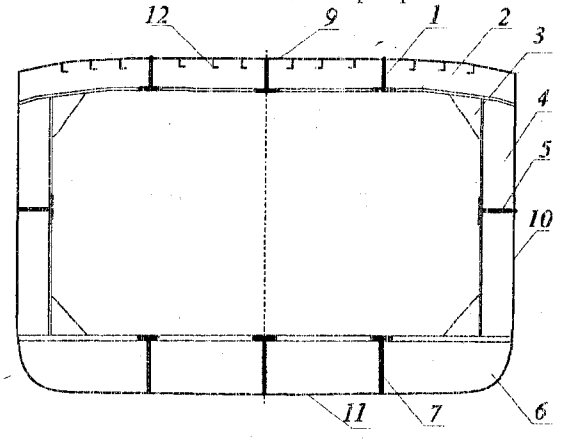


Рис.8. Рамный шпангоут:
1- карлингсы; *2*- бимс; *3*- кницы; *4*-рамный шпангоут; *5* - бортовой стрингер ; *6* - флор; *7* -кильсоны ; *8* - палуба ; *9* - борта ; *10* - днище ; *11*- ребра жесткости палубы

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Судовым ***перекрытием*** называется ***система балок*** (связей судового набора), ***пересекающихся*** под прямым углом, опертых по концам на жестком контуре и имеющих ***нагрузку***, направленную ***перпендикулярно их плоскости***. Различают днищевые палубные и бортовые перекрытия (рис. 9, 10, 11).

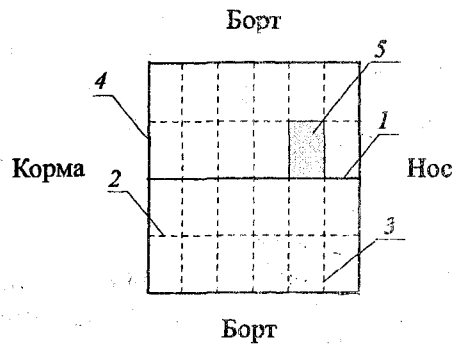


Рис. 9. Днищевое перекрытие:
1- продольная переборка; *2* - кильсон; *3* - флор; *4*- поперечная переборка; *5*- пластина

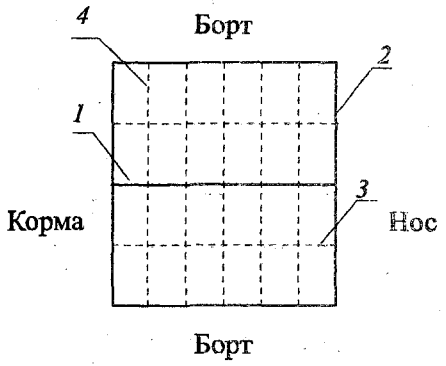


Рис.10.Палубное перекрытие:
1- продольная переборка; *2*-поперечная переборка; *3*-карлингс; *4* - бимс

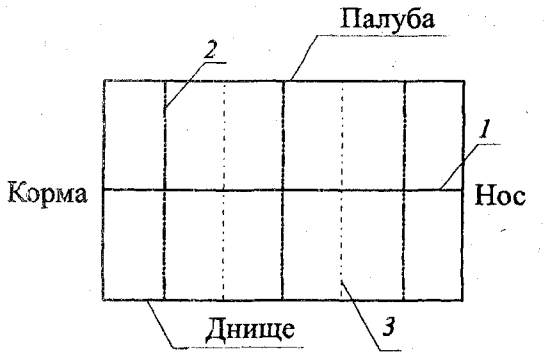


Рис. 11. Бортовое перекрытие:
1- бортовой стрингер; *2*- рамные шпангоуты; *3*-холостые шпангоуты

Классификация перекрытий по пластинам

Балки набора разбивают обшивку корпуса на отдельные ***пластины (5),*** как показано на рис. 9. Перекрытия могут иметь продольную и поперечную или клетчатую систему набора в зависимости от расположения пластин. Если ***длинная сторона пластины*** ориентирована ***вдоль судна, – продольная*** система набора перекрытия, если длинная сторона пластины ориентирована ***поперек*** судна,- – ***поперечная*** система набора (рис. 12 *а, б*). Квадратные пластины (или близкие к ним) образуют клетчатую систему набора (рис. 12, *в*).

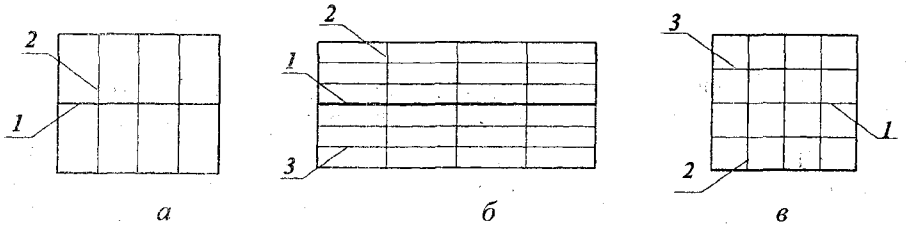


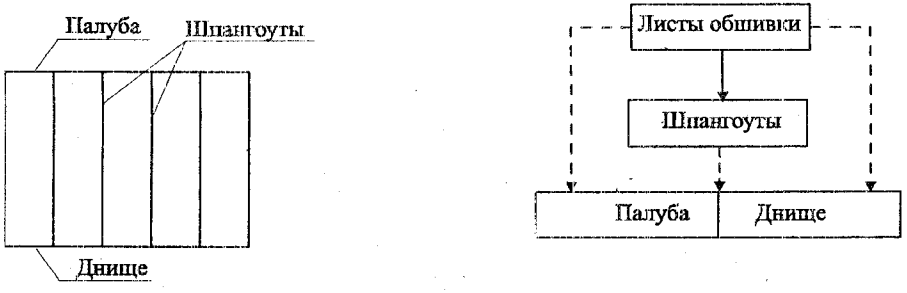
Рис.12. Схема расположения связей при поперечной, продольной и клетчатой системах набора:
а- поперечная система набора; *б*- продольная система набора;
в- клетчатая система набора
1- кильсон; *2*- флор; *3*-продольные ребра

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОГО НАБОРА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ВНЕШНИХ УСИЛИЙ

Каждый из элементов конструкции корпуса судна соответствует своему назначению при восприятии корпусом внешних нагрузок. Первичным элементом конструкции, воспринимающим давление воды или груза, является обшивка корпуса. Так как пластины обшивки обычно вытянуты в одном направлении (в продольном – при продольной системе набора и в поперечном – при поперечной системе), то основная нагрузка с пластин передается на подкрепляющие их холостые балки. Нагрузка с холостых балок передается на перпендикулярные им рамные балки.

На рис. 13,14,15 показаны некоторые типовые системы набора элементов корпусных конструкций и соответствующие им схемы передачи усилий, разработанные Н.И. Сиверцевым [4].



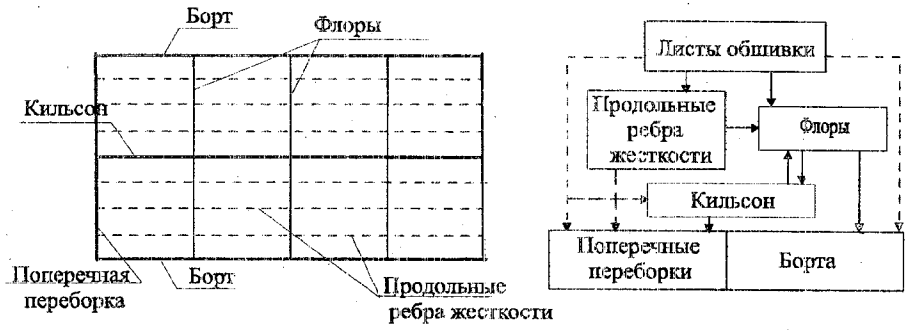
а *б*

Рис.13. Бортовое перекрытие с однородным набором:
а- система набора; *б*- схема передачи усилий

При однородном наборе (рис.13, *а*) основную часть нагрузки пластин воспринимают шпангоуты, которые передают эту нагрузку на палубу и днище(рис.13, *б*).

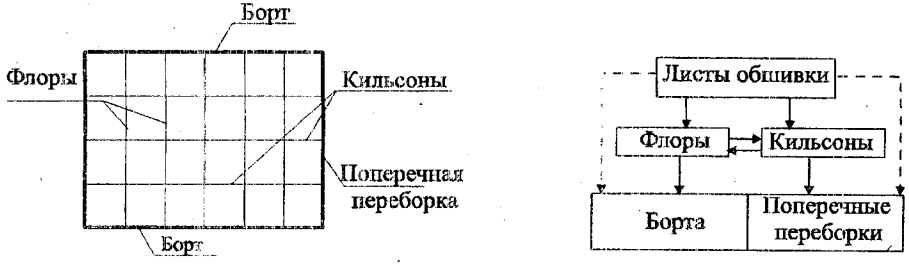
Для днищевых перекрытий (рис.14, *а*) от листов обшивки днища большая часть нагрузки приходится на продольные ребра жесткости и меньшая часть – на шпангоуты, борта и переборки. Продольные ребра

в свою очередь передают усилия на шпангоуты и переборки. Шпангоуты разносят усилия на борта и перекрестную связь (днищевой стрингер), которая передает усилия на переборки (рис. 14, *б*).



а) *б)*

Рис.14. Днищевое перекрытие в средней части судна:
а- система набора; *б*- схема передачи усилий



а *б*

Рис.15. Носовое днищевое перекрытие:
а- система набора; *б*- схема передачи усилий

На рис. 15, *б* представлена схема передачи усилий от листов обшивки на опорный контур (борта и переборки) применительно к носовому днищевому перекрытию (рис. 15, *а*). Основные усилия приходятся на часто стоящие флоры и днищевые стрингеры, и через них загружается опорный контур перекрытия. Незначительная часть усилий попадает на опорный контур непосредственно от пластин.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ТИПЫ ОПОРНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ

Все типы опорных закреплений, встречающихся в судостроительных конструкциях, можно разделить на шесть типов:

1. ***Свободная жесткая опора*** (шарнирная опора) абсолютно препятствует просадке опорного сечения ($\varpi=0$) и абсолютно не препятствует повороту опорного сечения ($\varpi' \neq 0$).

- $\varpi=0;$
- $\varpi' \neq 0;$
- $EJ\varpi'' = \mathrm{M}(x)$; $\varpi''=0.$

Рис.16. Свободная жесткая опора

2. ***Абсолютно жесткая заделка*** конца балки (жесткое защемление) полностью устраняет и линейное и угловое перемещения конца балки (прогиб и угол поворота сечения).

- $\varpi=0;$
- $\varpi' = 0.$

Рис.17. Абсолютно жесткая заделка

3. ***Упруго-проседающая опора*** в судостроительных конструкциях встречается двух типов:

- Проседающая опора, просадка которой является величиной заданной и постоянной ($\varpi = f$ - *технологические неточности при монтаже*);
- Проседающая опора, просадка которой пропорциональна реактивному усилию на опоре.

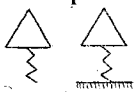


Рис.18.Упруго-проседающая опора

- $\varpi = f;$
- $\varpi = -AR;$
- $\left\{ \begin{array}{l} \varpi' \neq 0; \\ EJ\varpi'' = \mathrm{M}(x);\ \varpi''=0 \end{array} \right\},$

где A – коэффициент податливости при просадке; R – реактивное усилие на опоре.

Коэффициент податливости при просадке A представляет собой ***прогиб*** балки на опоре, ***вызванный единичной силой***:

$$[A] = \left[\frac{\varpi}{R}\right] = \left[\frac{\text{м}}{\text{н}}\right], \quad \text{если } R=1, \quad \text{то } A = \varpi.$$

4. ***Опора, упруго-препятствующая повороту опорного сечения***

Такая опора полностью устраняет прогиб и частично препятствует повороту опорного сечения. При этом угол поворота опорного сечения пропорционален опорному моменту .

Рис.19. Опора, упруго-препятствующая повороту

- $\varpi = 0;$
- $\varpi' = aM,$

где a - коэффициент податливости при повороте; M - опорный момент.

Коэффициент податливости при повороте a представляет собой ***угол поворота*** опорного сечения, ***вызванный единичным моментом***.

$$[a] = \left[\frac{\varpi'}{M}\right] = \left[\frac{1}{\text{нм}}\right], \quad \text{если } M=1, \quad \text{то } a = \varpi.$$

5. ***Опора, упруго-препятствующая просадке и повороту опорного сечения*** частично препятствует просадке и повороту опорного сечения. Это самый общий тип опоры, объединяющий признаки опоры типов 3 и 4.

Рис. 20. Опора, упруго-препятствующая просадке и повороту

В том случае, если просадка опоры является не упругой, а заданной величиной, граничные условия на опоре запишутся в виде

- $\varpi = f$;
- $\varpi' = aM$ или
- $\varpi = f$;
- $\varpi' = aEJ\varpi''$ для левой опоры балки

6. *Свободный конец балки*

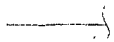


Рис.21. Свободный конец балки

$M = 0$; $V = 0$. или $EJ\varpi'' = 0$; $EJ\varpi''' = 0$.

В курсе строительной механики корабля часто заменяют коэффициент податливости при повороте a на коэффициент упругой заделки χ. Под коэффициентом упругой заделки χ понимают безразмерную величину, которая представляет собой отношение момента, фактически развиваемого опорой, к моменту, возникающему в абсолютно жесткой заделке.

$$\chi = \frac{M}{\boxed{M}},$$

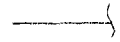
где M – опорный момент, фактически развиваемый опорой;

$\boxed{M}$ – опорный момент в жесткой заделке, установленной на месте данной опоры.

Пределы изменений коэффициента податливости при просадке A, коэффициента податливости при повороте a и коэффициента упругой заделки χ представлены в табл.

Пределы изменения коэффициентов A, a и χ

Таблица

	Коэффициенты	Опоры	A	a	χ
Типы опорных закреплений	*1Свободная жесткая опора*		0	∞	0
	2Абсолютно жесткая заделка		0	0	1
	3Упруго-проседающая опора		$0 \le A < \infty$	∞	0
	4Опора, упруго-препятствующая повороту опорного сечения		0	$0 \le a < \infty$	$0 \le \chi \le 1$
	5Опора, упруго-препятствующая просадке и повороту опорного сечения		$0 \le A < \infty$	$0 \le a < \infty$	$0 \le \chi \le 1$
	6Свободный конец балки		∞	∞	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский Речной Регистр.-М.: изд.«По Волге»,-2002, -249 с.

2. Правила классификации и постройки морских судов, -Л.: Транспорт, -1989, -620 с.

3. Давыдов В.В., Маттес Н.В., Сиверцев И.Н., Трянин И.И. Прочность судов внутреннего плавания: Справочник, -М.: Транспорт, -1978,-520 с.

4. Барабанов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. -Л.: Судостроение, -1981,-551 с.