

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

СБОРНИК
НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ

Книга седьмая



Санкт-Петербург
1997

В настоящем сборнике помещены Методика расчета прочности типовых перекрытий в составе корпуса морских судов, в которой содержатся указания по расчетному определению размеров связей при наборе корпуса по Правилам Российского Морского Регистра Судоходства, и Проект новой редакции требований Правил Регистра к ледовым усилениям судов ледового плавания и ледоколов.

Методика расчета прочности типовых перекрытий в составе корпуса морских судов разработана под руководством к.т.н. А. А. Осняча в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории повреждаемости и ледовых качеств судов Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Проект новой редакции требований Правил Регистра к ледовым усилениям судов ледового плавания и ледоколов разработан под руководством к.т.н. Е.М. Апполонова в Центральном научно-исследовательском институте имени акад. А.Н. Крылова.

© Российский Морской Регистр Судоходства, 1998

ISBN 5-89331-014-4

Российский Морской Регистр Судоходства
СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
Книга седьмая

Ответственный за выпуск *Е. Б. Мюллер*

Гл. редактор *Г. В. Шелкова*

Редактор *Л. Е. Кудрявцева*

Н/К

Подп. в печ. 18.12.97.	Формат 60 × 84/16	Усл. печ. л. 13,3.	Уч.-изд. л. 12,1
	Гарн. Таймс.	Заказ № 11-И.	

Российский Морской Регистр Судоходства
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 8
ЛР № 021056 от 03.06.96

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ТИПОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В СОСТАВЕ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ

1 Общие положения	5
1.1 Назначение. Область распространения	5
1.2 Общие указания	6
1.3 Исходные предпосылки. Допущения	6
1.4 Определения. Обозначения. Параметры	8
1.5 Дополнительные указания к расчету перекрытий	10
2 Днищевые перекрытия	11
2.1 Общие указания	11
2.2 Перекрытия центральных танков наливных судов	12
2.3 Перекрытия бортовых танков наливных судов	21
2.4 Днищевые перекрытия судов для навалочных грузов	26
3 Бортовые перекрытия	38
3.1 Общие указания	38
3.2 Регулярные бортовые перекрытия	39
3.3 Система перекрытий борт — продольная переборка в бортовых танках наливных судов	50
4 Палубные перекрытия	66
4.1 Общие указания	66
4.2 Регулярные палубные перекрытия	67
4.3 Палубные перекрытия с большими люковыми вырезами	71
5 Перекрытия поперечных переборок	100
5.1 Общие указания	100
5.2 Перекрытия переборок с вертикальными стойками	102
5.3 Перекрытия переборок с горизонтальными балками	111
5.4 Перекрытия переборок с большим числом рамных стоек	117
6 Материалы для расчета перекрытий	125
6.1 Общие указания	125
6.2 Коэффициенты влияния	126
6.3 Система уравнений для определения узловых реакций	133
6.4 Решение системы уравнений для определения узловых реакций	153
6.5 Наибольшие изгибающие моменты и перерезывающие силы	154
6.6 Перекрытия с большим числом балок главного направления	162

**ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ РЕГИСТРА К ЛЕДОВЫМ
УСИЛЕНИЯМ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ**

Часть I. Классификация

2.2.3 Знаки категорий ледовых усилений	171
--	-----

Часть II. Корпус

3.10. Ледовые усиления судов ледового плавания и ледоколов . . .	175
3.10.1 Общие положения и требования	175
3.10.2 Конструкция	183
3.10.3 Ледовая нагрузка	196
3.10.4 Размеры конструкций ледовых усилений	203

Часть VII. Механические установки

1.4 Мощность главных механизмов (п. 1.4.1, 1.4.2)	227
---	-----

<i>Приложение. Соответствие категорий ледовых усилений новой редакции Правил категориям (классам) действующих Правил Российского Морского Регистра Судоходства, Германского Ллойда, Американского Бюро Судоходства и Финско-Шведских Правил.</i>	229
--	-----

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ТИПОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В СОСТАВЕ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ

Последовательная реализация в части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов¹ Российского Морского Регистра Судоходства² расчетного принципа регламентации размеров связей обеспечивает всем формулам в Правилах четкий физический смысл, вытекающий из условий прочности и устойчивости; эмпирические соотношения используются только в качестве ограничений. Поэтому в случаях, когда результаты расчета не могут быть представлены в форме достаточно простых формул или таблиц, пригодных для включения в Правила, в последних указывается на необходимость определения размеров связей на основе прямых расчетов прочности. Это касается прежде всего рамных связей в конструкциях, у которых простейшей расчетной схемой оказывается перекрытие. Настоящая Методика расчета прочности типовых перекрытий в составе корпуса морских судов³ регламентирует выполнение упомянутых расчетов при наборе корпуса по Правилам.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 НАЗНАЧЕНИЕ. ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

1.1.1 Назначение Методики — методическое обеспечение расчетов прочности для выбора размеров рамных связей корпуса в тех случаях, когда в Правилах имеются указания на необходимость выполнения таких расчетов.

¹Далее — «Правила».

²Далее — «Регистр».

³Далее — «Методика».

1.1.2 Размеры рамных связей, определенные в полном соответствии с Методикой для регламентируемых ею расчетных схем, считаются полностью соответствующими требованиям Правил.

1.1.3 Применение Методики или отдельных ее положений для расчета прочности конструкций, расчетные схемы которых существенно отличаются от регламентируемых ею расчетных схем, является предметом специального рассмотрения Регистра.

1.1.4 Область распространения Методики, если не оговорено иное, соответствует области распространения Правил.

1.2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.2.1 Расчеты прочности, выполненные в соответствии с Методикой, подлежат согласованию с Регистром.

1.2.2 Расчеты прочности, выполняемые по Методике рекомендуется оформлять по форме, соответствующей форме приводимых в ней числовых примеров.

1.2.3 Для расчетов прочности конструкций корпуса при назначении их размеров могут быть использованы другие специальные методики и программы для ЭВМ, одобренные Регистром.

1.3 ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ. ДОПУЩЕНИЯ

1.3.1 При выполнении расчетов прочности по Методике должны использоваться расчетные нагрузки и коэффициенты допускаемых напряжений, регламентируемые Правилами для рассматриваемых рамных связей.

1.3.2 Момент инерции и (или) момент сопротивления сечения рамной связи должны вычисляться с учетом присоединенного пояска обшивки (настила), определяемого в соответствии с п.п. 1.6.3.2 — 1.6.3.8 Правил.

1.3.3 Длина пролета рамной связи, если не оговорено иное, должна определяться согласно п. 1.6.3.1 Правил.

1.3.4 Основной расчетной схемой конструкции в Методике является перекрытие как упругая плоская стержневая система, воспринимающая внешнюю нагрузку, перпендикулярную своей плоскости, и состоящая из взаимно перпендикулярных пересекающихся балок. В качестве балок перекрытия рассматриваются рамные связи конструкции.

1.3.5 Расчет перекрытий выполняется в рамках следующих допущений:

Все балки одного направления имеют одинаковую длину, одинаково закреплены на опорном контуре. Их сечения, расстояния друг от друга и от опорного контура одинаковы, если не оговорено иное.

Сечение балок перекрытия по длине неизменно, если не оговорено иное.

Опорный контур перекрытия считается жестким и несмещаемым.

Внешняя нагрузка воспринимается балками только одного направления, если не оговорено иное.

Жесткость балок перекрытия на кручение и сдвиг не рассматривается.

1.3.6 При выборе расчетной схемы конструкции и формировании исходных данных для ее расчета следующие отступления от требований 1.3.5 считаются допустимыми:

Если балки одного направления в перекрытии имеют разную длину, в расчете допускается осреднение этой длины. Однако принятая средняя длина балки не должна отличаться более чем на 20 % от действительной длины любой из балок перекрытия данного направления.

Если расстояние балок одного направления друг от друга и от опорного контура перекрытия не одинаково и это специально не оговорено в исходных данных расчета, допускается осреднение указанного расстояния. Однако принятое среднее расстояние не должно отличаться более чем на 30 % от действительного расстояния друг от друга или от опорного контура рассматриваемых балок перекрытия.

Если размеры сечения балок одного направления между собой и по длине изменяются и это специально не оговорено в исходных данных расчета, допускается осреднение размеров указанного сечения. Однако момент инерции осредненного сечения не должен более чем на 50 % отличаться от действительного значения момента инерции любого сечения любой из балок данного направления, за исключением участков местных усилений, не учитываемых в расчетной схеме.

1.4 ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ОБОЗНАЧЕНИЯ. ПАРАМЕТРЫ

1.4.1 Основные определения.

Регулярное перекрытие — перекрытие, полностью отвечающее допущениям, указанным в 1.3.5 без каких-либо оговорок; исключение — наличие усиленной балки одного из направлений, совпадающей с осью симметрии перекрытия.

Узловая точка (узел) перекрытия — точка пересечения осевых линий балок перекрытия разных направлений.

Узловая реакция — усилие взаимодействия балок перекрытия разных направлений в узловой точке в форме сосредоточенной силы, перпендикулярной плоскости перекрытия.

1.4.2 Основные обозначения.

A_{ij} — составляющая коэффициента влияния для балки C_{ij} (см. 6.2.2);

a — расстояние между смежными балками одного направления в перекрытии;

B_1 — ширина отсека;

B_{ij} — составляющая коэффициента влияния для балки C_{ij} (см. 6.2.2);

C_{ij} — коэффициент влияния для балки от узловой реакции (см. 6.2.1);

E — модуль упругости материала при растяжении-сжатии;

f_c — площадь сечения стенки балки набора;

f'_c — регламентируемое (вычисляемое) значение f_c без надбавки на износ;

I — момент инерции сечения балки набора с учетом присоединенного пояска обшивки (настила);

i и j — порядковые номера узлов перекрытия;

k — число узлов в пределах балки перекрытия;

k_σ — коэффициент допускаемых нормальных напряжений;

k_τ — коэффициент допускаемых касательных напряжений;

L_1 — длина отсека;

l — длина балки перекрытия;

M — изгибающий момент в сечении балки;

M_0 и M_l — изгибающие моменты в опорных сечениях балки;

M_{max} — максимальный изгибающий момент в пролете балки;

m — коэффициент момента (см. 1.4.3);

m_0 и m_l — значения m , отвечающие M_0 и M_l ;

m_m — значение m , отвечающее M_{max} ;

N — перерезывающая сила в сечении балки;

N_{max} — наибольшее значение N ;

n — коэффициент перерезывающей силы, отвечающий N_{max} (см. 1.4.3);
 p — интенсивность расчетной внешней нагрузки (давление), регламентируемая Правилами;
 Q — суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая балкой;
 R_j — узловая реакция в j -м узле;
 r_j — безразмерное значение R_j (см. 1.4.3);
 u — параметр относительной жесткости балки на сплошном упругом основании (см. 6.6.3);
 W — момент сопротивления сечения балки набора с учетом присоединенного пояска обшивки (настила);
 W' — регламентируемое (вычисляемое) значение W без учета надбавки на износ;
 w — прогиб балки;
 x и y — координатные оси в плоскости перекрытия;
 α — отношение моментов сопротивления сечений разных балок перекрытия (см. 1.4.3);
 β_i и γ_i — составляющие коэффициента влияния для балки δ_i (см. 6.2.3);
 δ_i — коэффициент влияния для балки от внешней нагрузки (см. 6.2.1);
 $\varkappa$ — коэффициент опорной пары;
 μ — параметр относительной жесткости балок перекрытия (см. 1.4.3);
 ω — расчетное число узлов перекрытия (см. 6.3.1);
 σ_n и τ_n — нормативный предел текучести материала соответственно по нормальным и касательным напряжениям согласно п. 1.1.4.3 Правил.

Использование для любой величины x и y в качестве надстрочного или подстрочного индекса означает принадлежность этой величины балке, параллельной соответственно оси x или y .

1.4.3 Основные безразмерные параметры:

$$r_j = \frac{R_j}{Q}; \quad (1.4.3-1)$$

$$m = \frac{Ql}{M}; \quad (1.4.3-2)$$

$$n = \frac{N_{max}}{Q}; \quad (1.4.3-3)$$

$$\mu = \frac{I^y}{I^x} \left(\frac{I_x}{I_y} \right)^3; \quad (1.4.3-4)$$

$$\alpha = \frac{W^y}{W^x}. \quad (1.4.3-5)$$

В расчетах допускается использование следующих приближенных соотношений:

$$\frac{I^y}{I^x} = \left(\frac{W^y}{W^x} \right)^{4/3} = \left(\frac{W'^y}{W'^x} \right)^{4/3} = \alpha^{4/3}. \quad (1.4.3-6)$$

1.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТУ ПЕРЕКРЫТИЙ

1.5.1 Исходные данные для расчета конкретных типов перекрытий, рассматриваемых в Методике, регламентируются в разделах 2 — 5.

1.5.2 В составе исходных данных для расчета перекрытий должны быть заданы соотношения моментов инерции сечений всех его балок (участков балок), различающихся по этому параметру. Величина соотношений не регламентируется.

1.5.3 Указания по расчету регулярных перекрытий содержатся в разделе 6. Указания по расчету перекрытий, отличающихся от регулярных, содержатся в разделах 3 и 4.

1.5.4 Результатом расчета перекрытия является определение значений коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n или изгибающих моментов M и перерезывающих сил N для наиболее нагруженных балок, отличающихся по размерам сечения, в наиболее нагруженных (опасных) сечениях.

1.5.5 Для каждой балки перекрытия по данным, указанным в 1.5.4, с учетом соотношений моментов инерции сечений, задаваемых согласно 1.5.2, должны быть определены требуемые значения момента сопротивления сечения W' без учета надбавки на износ.

Значения W' определяются по формулам:

$$W' = \frac{M}{k_{\sigma}\sigma_n}$$

или

$$W' = \frac{Ql}{mk_{\sigma}\sigma_n}.$$

Одновременно W' данной балки определяется по W' других балок перекрытия, отличающихся по размерам сечения, исходя из заданных согласно 1.5.2 соотношений моментов инерции сечений. Если исполь-

зуются приближенные соотношения (1.4.3-6), указанное в частности для балок, параллельных осям x и y , реализуется в форме

$$W'^y = W'^x \left(\frac{I^y}{I^x} \right)^{3/4}.$$

Из всех найденных значений W' для данной балки принимается наибольшее.

1.5.6 Для каждой балки перекрытия по данным, указанным в 1.5.4, должны быть определены требуемые значения площади сечения стенок по формулам:

$$f'_c = k_n \frac{N}{k_\tau \tau_n}$$

или

$$f'_c = k_n \frac{nQ}{k_\tau t_n},$$

где $k_n = 0,7$ для нефтеналивных судов;

$k_n = 1,0$ для остальных типов судов, если не оговорено иное.

2 ДНИЩЕВЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

2.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1.1 Указания настоящего раздела относятся к расчету прочности днищевых перекрытий наливных судов с одинарным дном в районе грузовых танков, согласно п.2.3.4.2.5 Правил, и днищевых перекрытий судов для навалочных грузов, согласно п. 3.3.4.1.1 Правил.

2.1.2 Внешняя нагрузка на перекрытие считается равномерно распределенной и воспринимается флорами. Система набора считается продольной.

2.1.3 Расчетное давление на днищевые перекрытия наливных судов определяется согласно требованиям п. 2.3.3.2 Правил.

При определении размеров связей перекрытия коэффициенты допускаемых напряжений должны выбираться в соответствии с требованиями п. 2.3.4.2.2 Правил для флоров и п. 2.3.4.2.3 для вертикального кия и днищевых стрингеров.

2.1.4 Расчетное давление на днищевое перекрытие судов для навалочных грузов определяется согласно требованиям п. 3.3.3 Правил. При

определении размеров связей перекрытия коэффициенты допускаемых напряжений должны выбираться в соответствии с требованиями п. 3.3.4.1.1 Правил.

2.1.5 В качестве расчетной длины перекрытия принимается длина танка на наливных судах, длина трюма на судах для навалочных грузов. Расчетная ширина перекрытия на наливных судах — ширина танка, на судах для навалочных грузов — ширина, измеренная между точками, расположенными посередине скуловых цистерн, если борт одинарный, и посередине ширины двойного борта при наличии последнего.

2.1.6 В расчетах перекрытий ось x считается направленной по длине судна, ось y — по ширине судна. Для выделения величин, относящихся к разным балкам перекрытий, используются следующие индексы:

ϕ — для флоров;

k — для вертикального кия;

s — для днищевых стрингеров.

Согласно 1.4.1 рассматриваемые перекрытия являются регулярными, и их расчет выполняется с использованием материалов раздела 6.

2.2 ПЕРЕКРЫТИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТАНКОВ НАЛИВНЫХ СУДОВ

2.2.1 В данной главе рассматриваются днищевые перекрытия центральных танков наливных судов, имеющие наряду с вертикальным килем по одному днищевому стрингеру на борт. Перекрытия без стрингеров являются объектом регламентации гл. 2.3 Правил.

2.2.2 Все балки перекрытия считаются жестко заделанными на его опорном контуре. Коэффициенты опорной пары $\kappa^x = \kappa^y = 1$.

2.2.3 Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, согласно формуле (6.3.2-1), определяется как

$$Q_{\phi} = p a_{\phi} B_1,$$

где p — расчетная нагрузка согласно 2.1.3;
 a_{ϕ} — расстояние между флорами.

2.2.4 Согласно 1.5.2, поскольку вертикальный киль всегда усилен по сравнению с днищевым стрингером, задаются соотношения моментов инерции

$$\frac{I_{\phi}}{I_k}; \quad \frac{I_{\phi}}{I_c}.$$

Последние используются для вычисления параметров относительной жесткости балок перекрытия по формулам (1.4.3-4) и (6.3.4)

$$\mu_0 = \frac{I_{\Phi}}{I_k} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3;$$

$$\mu = \frac{I_{\Phi}}{I_c} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3.$$

2.2.5 Если используются приближенные соотношения (1.4.3-6), заданное в 2.2.4 позволяет определить соотношения требуемых значений моментов сопротивления сечений балок перекрытия без учета надбавок на износ:

$$\alpha_0 = \frac{W'_{\Phi}}{W'_{\kappa}} = \left(\frac{I_{\Phi}}{I_k} \right)^{3/4};$$

$$\alpha = \frac{W'_{\Phi}}{W'_c} = \left(\frac{I_{\Phi}}{I_c} \right)^{3/4}.$$

2.2.6 Согласно 2.1.2 и 2.2.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам 3.1с, 3.2с, 3.4с и 3.5с из табл. 6.3.3, если число флоров $k_{\Phi} \leq 5$, и материалы гл. 6.6 применительно к схеме 3с из табл. 6.6.2 при $k_{\Phi} > 5$.

2.2.7 При выполнении расчетов, указанных в 2.2.6, коэффициенты моментов для опорных сечений не вычисляются. Для определения требуемых значений моментов сопротивления сечения балок перекрытия используются коэффициенты моментов для сечений максимума изгибающего момента в пролете балки.

2.2.8 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения флора без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi} B_1}{m_{\Phi} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.2.8-1)$$

$$W'_{\Phi} = \alpha_0 W'_{\kappa}; \quad (2.2.8-2)$$

$$W'_{\Phi} = \alpha_0 W'_c \quad (2.2.8-3)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{κ} — по формулам (2.2.8-4) — (2.2.8-6);

W'_c — по формулам (2.2.8-7) — (2.2.8-9).

Требуемый момент сопротивления сечения вертикального кия определяется по следующим формулам:

$$W'_{\kappa} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\kappa} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.2.8-4)$$

$$W'_{\kappa} = \frac{W'_{\Phi}}{\alpha_0}; \quad (2.2.8-5)$$

$$W'_{\kappa} = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_{\text{с}} \quad (2.2.8-6)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{Φ} — по формулам (2.2.8-1) — (2.2.8-3);

$W'_{\text{с}}$ — по формулам (2.2.8-7) — (2.2.8-9).

Требуемый момент сопротивления сечения днищевого стрингера определяется по следующим формулам :

$$W'_{\text{с}} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\text{с}} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.2.8-7)$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{W'_{\Phi}}{\alpha}; \quad (2.2.8-8)$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_{\kappa} \quad (2.2.8-9)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{Φ} — по формулам (2.2.8-1) — (2.2.8-3);

W'_{κ} — по формулам (2.2.8-4) — (2.2.8-6).

Здесь коэффициенты m_{Φ} , m_{κ} , $m_{\text{с}}$ определяются согласно 2.2.6 с учетом 2.2.7; коэффициент k_{σ} — согласно 2.1.3; коэффициенты α_0 и α — согласно 2.2.4 или 2.2.5; суммарная нагрузка Q_{Φ} — согласно 2.2.3.

2.2.9 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам:
для флора

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\Phi} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n}; \quad (2.2.9-1)$$

для вертикального кия

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\kappa} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n}; \quad (2.2.9-2)$$

для днищевого стрингера

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\text{с}} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n}, \quad (2.2.9-3)$$

где коэффициенты n_{Φ} , n_{κ} и $n_{\text{с}}$ определяются согласно 2.2.6; коэффициент k_{τ} — согласно 2.1.3, суммарная нагрузка Q_{Φ} — по 2.2.3.

2.2.10 Числовой пример.

.1 Исходные данные:

- длина танка $L_1 = 20,0$ м;
- ширина танка $B_1 = 16,2$ м;
- число флоров в танке $k_\Phi = 4$;
- расчетное расстояние между флорами $a_\Phi = L_1/(k_\Phi + 1) = 20,0/(4 + 1) = 4,0$ м;
- интенсивность расчетной нагрузки согласно п.2.3.3.2 Правил $p = 142$ кПа;
- коэффициент допускаемых напряжений согласно п.2.3.4.2 Правил для флора $k_\sigma = k_\tau = 0,6$;
- для вертикального кия и днищевое стрингера $k_\sigma = 0,35$; $k_\tau = 0,6$;
- нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил $\sigma_n = 235$ МПа;

$$\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 235 = 134 \text{ МПа.}$$

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, согласно 2.2.3

$$Q_\Phi = p a_\Phi B_1 = 142 \cdot 4,0 \cdot 16,2 = 9200 \text{ кН.}$$

.2 Безразмерные параметры. Согласно 2.2.4 и 2.2.5 зададим

$$\alpha_0 = \frac{W'_\Phi}{W'_\kappa} = 0,2;$$

$$\alpha = W'_\Phi W'_c = 0,4$$

и определим

$$\mu_0 = \alpha_0^{4/3} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3 = 0,2^{4/3} \left(\frac{20,0}{16,2} \right)^3 = 0,220;$$

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3 = 0,4^{4/3} \left(\frac{20,0}{16,2} \right)^3 = 0,555.$$

.3 Схема перекрытия; граничные условия. Рассматриваемое перекрытие симметрично относительно осей x и y . Согласно 2.2.2 все балки перекрытия считаются жестко заделанными на его опорном контуре. Коэффициенты опорной пары $\kappa_x = \kappa_y = 1$. Число узлов в пределах длины флора $k_y = 3$. Для вертикального кия и днищевое стрингера, имеющих по 4 узла в пределах своей длины, $k_x = 4$.

.4 Коэффициенты влияния флора от узловых реакций. Составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_y = 3$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^y = A_{11}^y - B_{11}^y = 0,1250 - 0,0938 = 0,0312;$$

$$C_{12}^y = A_{12}^y - B_{12}^y = 0,1719 - 0,1406 = 0,0313;$$

$$C_{21}^y = A_{21}^y - B_{12}^y = 0,0859 - 0,0703 = 0,0156;$$

$$C_{22}^y = A_{22}^y - B_{22}^y = 0,1250 - 0,1055 = 0,0195.$$

.5 Коэффициенты влияния вертикального кия и днищевого стрингера. Составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_x = 4$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^x = A_{11}^x - B_{11}^x = 0,2240 - 0,1728 = 0,0512;$$

$$C_{12}^x = A_{12}^x - B_{12}^x = 0,1360 - 0,1152 = 0,0208;$$

$$C_{21}^x = A_{21}^x - B_{21}^x = 0,1360 - 0,1152 = 0,0208;$$

$$C_{22}^x = A_{22}^x - B_{22}^x = 0,0880 - 0,0768 = 0,0112.$$

.6 Коэффициенты влияния флора от внешней нагрузки. Коэффициенты влияния флора от внешней нагрузки δ_i^y вычисляются по формуле (6.2.3). Поскольку флор загружен равномерно распределенной нагрузкой и симметричен относительно середины пролета, составляющие δ_i^y определяются по табл. 6.2.6-1 для $k_y = 3$.

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \gamma_1^y = 0,0781 - 0,0625 = 0,0156;$$

$$\delta_2^y = \beta_2^y - \gamma_2^y = 0,0557 - 0,0469 = 0,0088.$$

.7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Поскольку $k_\Phi < 5$, согласно 2.2.6 в табл. 6.3.3 рассматриваемому перекрытию соответствует схема 3.4с. Для нее коэффициенты системы уравнений a_{ji} определяются по формулам табл. 6.3.4-7. Значения коэффициентов a_{ji} приведены в табл. 2.2.10-1.

Таблица 2.2.10-1

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1	r_2	r_3	r_4
1	0,0425	0,0046	0,0313	0
2	0,0046	0,0337	0	0,0313
3	0,0156	0	0,0479	0,0115
4	0	0,0156	0,0115	0,0257

8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 3.4с, у которого загружены балки, параллельные оси y , коэффициенты b_i определяются по формулам табл. 6.3.5-1. Значения коэффициентов b_i приведены в табл. 2.2.10-2.

Таблица 2.2.10-2

Значения коэффициентов b_i

№ уравнения	1	2	3	4
b_i	0,0156	0,0156	0,0088	0,0088

9 Решение системы уравнений. Результаты решения системы уравнений:

$$r_1 = 0,297; r_2 = 0,291; r_3 = 0,0527; r_4 = 0,142.$$

Проверка правильности решения системы уравнений согласно указаниям 6.4.1 выполняется подстановкой в систему полученных значений r_i .

$$0,0425 \cdot 0,297 + 0,0046 \cdot 0,291 + 0,0313 \cdot 0,0527 = 0,0156;$$

$$0,0046 \cdot 0,297 + 0,0337 \cdot 0,291 + 0,0313 \cdot 0,142 = 0,0156;$$

$$0,0156 \cdot 0,297 + 0,0479 \cdot 0,0527 + 0,0115 \cdot 0,142 = 0,0088;$$

$$0,0156 \cdot 0,291 + 0,0115 \cdot 0,0527 + 0,0257 \cdot 0,142 = 0,0088.$$

Результаты совпадают с b_i с точностью до последней значащей цифры.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для флора. По формулам табл. 6.5.7 для флоров как балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой и симметричных относительно середины пролета, при $k_y=3$ определим коэффициенты m и n . Соотношение обезличенных соотношений узловых реакций должно быть выполнено согласно 6.5.7 по табл. 6.5.2-3,

где $r_a = r_1$; $r_b = r_3$.

$$n = \frac{1}{2} (1 - r_a - 2r_b); \quad (2.2.10-1)$$

$$\frac{1}{m_0} = \left(\frac{1}{12} - \frac{r_a}{8} - 3\frac{r_b}{16} \right) \kappa;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{2} (n + r_b)^2 - \frac{r_b}{4} - \frac{1}{m_0}.$$

учтем значение $\kappa^y = 1$ и согласно указаниям 2.2.7 примем

$$m_\Phi = m_m.$$

Тогда, подставляя в формулах (2.2.10-1) m_0 в m_m , вычислим

$$n_\Phi = \frac{1}{2} (1 - r_1 - 2r_3) = \frac{1}{2} (1 - 0,297 - 2 \cdot 0,0527) = 0,299;$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_\Phi} &= \frac{1}{2} (n_\Phi + r_3)^2 - \frac{r_b}{4} - \left(\frac{1}{12} - \frac{r_1}{8} - 3\frac{r_3}{16} \right) = \\ &= \frac{1}{2} (0,2990 + 0,0527)^2 - \frac{0,0527}{4} - \frac{1}{12} + \frac{1}{8} \cdot 0,2970 + \frac{3}{16} \cdot 0,0527 = 0,0123; \end{aligned}$$

$$m_\Phi = 81,5.$$

.11 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для вертикального кия и днищевое стрингера. Для вертикального кия и днищевое стрингера как балок, не нагруженных внешней нагрузкой и симметричных относительно середины пролета, коэффициенты m и n определяются по табл. 6.5.2-1. При $k_x = 4$

$$n = r_a + r_b;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{25} (3r_a + 2r_b) \kappa; \quad (2.2.10-2)$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{5} (2r_a + r_b) - \frac{1}{m_0}.$$

Учитывая значение $\varkappa$ по 2.2.2 и указания 2.2.7, подставим m_0 в m_m . Тогда

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{25} (4r_a + r_b) . \quad (2.2.10-3)$$

Соотнесение обезличенных обозначений узловых реакций с нумерацией узлов перекрытий на схеме 3.4с в табл.6.3.3, согласно 6.5.5, должно быть выполнено по табл.6.5.2-2, из которой для вертикального киля

$$r_a = r_1; \quad r_b = r_2;$$

для днищевго стрингера

$$r_a = r_3; \quad r_b = r_4.$$

Тогда по формулам (2.2.10-2) и (2.2.10-3)

$$n_k = r_1 + r_2 = 0,297 + 0,291 = 0,588;$$

$$\frac{1}{m_k} = \frac{1}{25} (4r_1 + r_2) = \frac{1}{25} (4 \cdot 0,297 + 0,291) = 0,0592;$$

$$n_c = r_3 + r_4 = 0,0527 + 0,1420 = 0,195;$$

$$\frac{1}{m_c} = \frac{1}{25} (4r_3 + r_4) = \frac{1}{25} (4 \cdot 0,0527 + 0,142) = 0,0141;$$

$$m_k = 16,9; \quad m_c = 70,8.$$

.12 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 2.2.8:

если предположить, что опасное сечение располагается во флоре,

$$W'_{\phi} = \frac{Q_{\phi} B_1}{m_{\phi} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9200 \cdot 16,2}{81,5 \cdot 0,6 \cdot 235} 10^3 = 13,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\kappa} = \frac{W'_{\phi}}{\alpha_0} = \frac{13,0 \cdot 10^3}{0,2} = 64,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{W'_{\phi}}{\alpha} = \frac{13,0 \cdot 10^3}{0,4} = 32,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в вертикальном киле,

$$W'_{\kappa} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\kappa} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9200 \cdot 20}{16,9 \cdot 0,35 \cdot 235} 10^3 = 132,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\Phi} = \alpha W'_{\kappa} = 0,2 \cdot 132,4 \cdot 10^3 = 26,5 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_{\kappa} = \frac{0,2}{0,4} 132,4 \cdot 10^3 = 66,2 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в днищевом стрингере,

$$W'_{\text{с}} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\text{с}} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9200 \cdot 20}{70,9 \cdot 0,35 \cdot 235} 10^3 = 31,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\Phi} = \alpha W'_{\text{с}} = 0,4 \cdot 31,6 \cdot 10^3 = 12,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\kappa} = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_{\text{с}} = \frac{0,4}{0,2} 31,6 \cdot 10^3 = 63,2 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в вертикальном киле. Поэтому окончательно

$$W'_{\Phi} = 26,5 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{\kappa} = 132,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{\text{с}} = 66,2 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

1.13 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 2.2.9:

для флора

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\Phi} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = 0,7 \frac{0,299 \cdot 9200}{0,6 \cdot 134} 10 = 239 \text{ см}^2;$$

для вертикального кия

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\kappa} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = 0,7 \frac{0,588 \cdot 9200}{0,6 \cdot 134} 10 = 471 \text{ см}^2;$$

для днищевго стрингера

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\text{с}} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = 0,7 \frac{0,195 \cdot 9200}{0,6 \cdot 134} 10 = 156 \text{ см}^2.$$

2.3 ПЕРЕКРЫТИЯ БОРТОВЫХ ТАНКОВ НАЛИВНЫХ СУДОВ

2.3.1 В данной главе рассматриваются днищевые перекрытия бортовых танков наливных судов, имеющих днищевой стрингер, в случаях, когда судно имеет одну, две или три продольные переборки.

Для судов с тремя продольными переборками рассматриваются только танки, примыкающие к борту. К днищевым перекрытиям танков, примыкающих к продольной переборке в диаметральной плоскости, полностью применимы требования п.2.3.4 Правил к днищевым перекрытиям центрального танка наливных судов с двумя продольными переборками; при этом вместо вертикального килля должен рассматриваться днищевой стрингер.

2.3.2 Для концов днищевого стрингера, которые считаются жестко заделанными, коэффициент опорной пары

$$\kappa^x = 1.$$

Для конца флора, примыкающего к продольной переборке, который считается жестко заделанным,

$$\kappa_0^y = 1.$$

Для конца флора, примыкающего к борту, который считается упруго заделанным:

у судов с одной продольной переборкой

$$\kappa_l^y = 0,4;$$

у судов с двумя или тремя продольными переборками

$$\kappa_l^y = 0,7.$$

2.3.3 Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, определяется согласно 2.2.3.

2.3.4 Согласно 1.5.2 задается соотношение моментов инерции

$$\frac{I_\Phi}{I_c},$$

с использованием которого по формуле (1.4.3-4) вычисляется параметр относительной жесткости перекрытия

$$\mu = \frac{I_\Phi}{I_c} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3.$$

2.3.5 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 2.3.4 позволяет определить соотношение требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытия без учета надбавок на износ

$$\alpha = \frac{W'_{\phi}}{W'_c} = \left(\frac{I_{\phi}}{I_c} \right)^{3/4}.$$

2.3.6 Согласно 2.1.2 и 2.3.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам 1.1с, 1.2с, 1.3с, 1.4с и 1.5с из табл. 6.3.3, если число флоров $k_{\phi} \leq 5$, и материалы гл. 6.6 применительно к схеме 1с из табл. 6.6.2 при $k_{\phi} > 5$.

2.3.7 При вычислении коэффициентов моментов должны быть выполнены требования 2.2.7.

2.3.8 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения без учета износа для флора определяется по формулам (2.2.8-1) и (2.2.8-3) в зависимости от того, что больше; для днищевоего стрингера по формулам (2.2.8-7) и (2.2.8-8) в зависимости от того, что больше.

В упомянутых формулах m_{ϕ} и m_c определяются согласно 2.3.6 с учетом 2.3.7; коэффициент k_{σ} — согласно 2.1.3; коэффициент α — согласно 2.2.4 или 2.2.5; суммарная нагрузка Q_{ϕ} — по 2.3.3.

2.3.9 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения без учета износа для флора определяется по формуле (2.2.9-1), для днищевоего стрингера — по формуле (2.2.9-3), где n_{ϕ} и n_c определяются согласно 2.3.6; коэффициент k_{τ} — согласно 2.1.3, суммарная нагрузка Q_{ϕ} — по 2.3.3.

2.3.10 Числовой пример.

1 Исходные данные:

- длина танка $L_1 = 20,0$ м;
- ширина танка $B_1 = 9,0$ м;
- число флоров в танке $k_{\phi} = 4$;
- расчетное расстояние между флорами $a_{\phi} = \frac{L_1}{k_{\phi} + 1} = \frac{20,0}{4 + 1} = 4,0$ м;
- интенсивность расчетной нагрузки согласно п. 2.3.3.2 Правил $p = 142$ кПа;
- коэффициент допускаемых напряжений согласно п.2.3.4.2 Правил для флора $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,6$;
- для вертикального кия и днищевоего стрингера $k_{\sigma} = 0,35$; $k_{\tau} = 0,6$;
- нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил $\sigma_n = 235$ МПа, $\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 235 = 134$ МПа.

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, согласно 2.2.3

$$Q_{\Phi} = p a_{\Phi} B_1 = 142 \cdot 4,0 \cdot 9,0 = 5110 \text{ кН.}$$

.2 Безразмерные параметры. Согласно 2.2.4 и 2.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_{\Phi}}{W'_c} = 0,4$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3 = 0,4^{4/3} \left(\frac{20,0}{9,0} \right)^3 = 3,23.$$

.3 Схема перекрытия; граничные условия. Судно имеет две продольные переборки и согласно 2.3.2 коэффициенты опорной пары флора $\varkappa_0^y = 1$ и $\varkappa_1^y = 0,7$. Условия закрепления концов флора, согласно табл. 6.2.4, классифицируются как особый случай. Для днищевоего стрингера, имеющего 4 узла в пределах своей длины, обеспечена симметрия относительно оси y и $k_x = 4$. Для него $\varkappa^x = 1$.

.4 Коэффициенты влияния флора от узловых реакций. Составляющие коэффицентов C_{ij} определены в 6.2.5, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \varkappa_1^y B_{11}^y = 0,0547 - 0,7 \cdot 0,0234 = 0,0383.$$

.5 Коэффициенты влияния днищевоего стрингера. Составляющие коэффицентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_x = 4$, а C_{ij} по формуле (6.2.1).

$$C_{11}^x = A_{11}^x - B_{11}^x = 0,2240 - 0,1728 = 0,0512;$$

$$C_{12}^x = A_{12}^x - B_{12}^x = 0,1360 - 0,1152 = 0,0208;$$

$$C_{21}^x = A_{21}^x - B_{21}^x = 0,1360 - 0,1152 = 0,0208;$$

$$C_{22}^x = A_{22}^x - B_{22}^x = 0,0880 - 0,0768 = 0,0112.$$

.6 Коэффициенты влияния флора от внешней нагрузки. Поскольку флор загружен равномерно распределенной нагрузкой, а условия его закрепления, согласно табл. 6.2.4, классифицируются как особый случай, составляющие коэффициента δ_1^y определяются согласно 6.2.6

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \varkappa_1^y \gamma_1^y = 0,0313 - 0,7 \cdot 0,0156 = 0,0204.$$

.7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Поскольку $k_{\Phi} < 5$, согласно 2.3.6 в табл. 6.3.3 рассматриваемому перекрытию соответствует схема 1.4с. Для нее коэффициенты системы уравнений a_{ji} определяются по формулам табл. 6.3.4-1. Значения коэффициентов a_{ji} приведены в табл. 2.3.10.

Т а б л и ц а 2.3.10

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	0,2040	0,0672
2	0,0672	0,0746

.8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 1.4с, у которого загружены балки, параллельные оси y , коэффициенты b_i определяются по формулам табл. 6.3.5-1:

$$b_1 = b_2 = \delta_1^y.$$

Следовательно,

$$b_1 = b_2 = 0,0204.$$

.9 Решение системы уравнений. Результаты решения системы уравнений:

$$r_1 = 0,0139; r_2 = 0,261.$$

Проверка правильности решения системы уравнений согласно указаниям 6.4.1 выполняется подстановкой в систему полученных значений r_i .

$$0,204 \cdot 0,0139 + 0,0672 \cdot 0,261 = 0,0204;$$

$$0,0672 \cdot 0,0139 + 0,0745 \cdot 0,261 = 0,0204.$$

Результаты совпадают с b_i с точностью до последней значащей цифры.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для флора. Поскольку флор, согласно табл. 6.2.4, по условиям опирания — особый случай, при определении для него коэффициентов момента m_Φ и перерезывающей силы n_Φ следует пользоваться формулами из 6.5.9, где обозначенная безразмерная реакция согласно табл. 6.5.2-3 соответствует

$$r_a = r_1.$$

Кроме того, согласно 2.2.7,

$$m_\Phi = m_m.$$

$$\frac{1}{m_l} = \kappa_l^y = \left(\frac{1}{12} - \frac{0,0139}{8} \right) 0,7 = 0,0571;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{8} - 3 \frac{r_1}{16} - \frac{1}{2m_l} = \frac{1}{8} - 3 \frac{0,0139}{16} - \frac{1}{2 \cdot 0,0571} = 0,0938.$$

Тогда

$$n_\Phi = \frac{1}{16} (10 - 11r_1) - \frac{3}{2m_l} = \frac{1}{16} (10 - 11 \cdot 0,0139) - \frac{3}{2 \cdot 0,0571} = 0,530;$$

$$\frac{1}{m_\Phi} = \frac{1}{2} (n_\Phi + r_1)^2 - \frac{r_1}{2} - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2} (0,518 + 0,014)^2 - \frac{1}{2} \cdot 0,014 - 0,0816 = 0,047;$$

$$m_\Phi = 21,3.$$

.11 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для днищевого стрингера. Стрингер — балка, не нагруженная внешней нагрузкой и симметричная относительно середины пролета, по 2.3.2 коэффициент опорной пары $\kappa_x = 1$. Данный случай совпадает с рассмотренным в 2.2.10. Это позволяет воспользоваться формулами (2.2.10-2) и (2.2.10-3). Соотнесение обозначенных обозначений узловых реакций с нумерацией узлов перекрытий на схеме 1.4с в табл. 6.3.3, согласно 6.5.5, должно быть выполнено по табл. 6.5.2-2.

Тогда для днищевого стрингера

$$r_a = r_1; \quad r_b = r_2.$$

$$n_c = r_1 + r_2 = 0,0139 + 0,261 = 0,275;$$

$$\frac{1}{m_c} = \frac{1}{25} (4r_1 + r_2) = \frac{1}{25} (4 \cdot 0,013 + 0,261) = 0,0127;$$

$$m_c = 79,0.$$

.12 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 2.3.8:

если предположить, что опасное сечение располагается во флоре,

$$W'_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi} B_1}{m_{\Phi} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{5110 \cdot 9,0}{21,3 \cdot 0,6 \cdot 235} 10^3 = 15,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{W'_{\Phi}}{\alpha} = \frac{15,3 \cdot 10^3}{0,4} = 38,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в днищевом стрингере,

$$W'_{\text{с}} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\text{с}} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{5110 \cdot 20}{79,0 \cdot 0,35 \cdot 235} 10^3 = 15,7 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\Phi} = \alpha W'_{\text{с}} = 0,4 \cdot 15,7 \cdot 10^3 = 6,29 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается во флоре. Поэтому окончательно

$$W'_{\Phi} = 15,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{\text{с}} = 38,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.13 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 2.2.9:

для флора

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\Phi} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = 0,7 \frac{0,530 \cdot 5110}{0,6 \cdot 134} 10 = 236 \text{ см}^2;$$

для днищевого стрингера

$$f'_{\text{с}} = 0,7 \frac{n_{\text{с}} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = 0,7 \frac{0,275 \cdot 5110}{0,6 \cdot 134} 10 = 122 \text{ см}^2.$$

2.4 ДНИЩЕВЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ СУДОВ ДЛЯ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ

2.4.1 В данной главе рассматриваются днищевые перекрытия судов для навалочных грузов в районе грузовых трюмов.

2.4.2 При определении условий закрепления концов продольных связей перекрытия — вертикального кия и днищевых стрингеров, согласно требованиям п. 3.3.4.1.1 Правил, должно учитываться чередование пустых и загруженных трюмов, если таковое предусматривается условиями

эксплуатации. Приближенно значения коэффициентов опорной пары для указанных связей определяются по следующим формулам:

$$\kappa_0^x = 3 \frac{2(1 + \lambda_l)(1 + \bar{p}_0 \lambda_0^3) - (1 + \bar{p}_l \lambda_l^3)}{4(1 + \lambda_0)(1 + \lambda_l) - 1}; \quad (2.4.2-1)$$

$$\kappa_l^x = 3 \frac{2(1 + \lambda_0)(1 + \bar{p}_l \lambda_l^3) - (1 + \bar{p}_0 \lambda_0^3)}{4(1 + \lambda_0)(1 + \lambda_l) - 1}; \quad (2.4.2-2)$$

где $\lambda_0 = \frac{L_0}{L_1}$, $\lambda_l = \frac{L_l}{L_1}$; $\bar{p}_0 = \frac{p_0}{p}$; $\bar{p}_l = \frac{p_l}{p}$;

L_1 — длина рассматриваемого трюма;

L_0 и L_l — длина смежных (в корму и в нос) трюмов;

p — интенсивность расчетной нагрузки в рассматриваемом трюме согласно 2.1.3;

p_0 и p_l — интенсивность расчетной нагрузки в смежных трюмах.

При вычислении $\bar{p}_0$ и $\bar{p}_l$ значения p , p_0 и p_l считаются положительными в случае, если их воздействие направлено со стороны моря. Если расчет по формулам (2.4.2-1) или (2.4.2-2) дает отрицательное значение κ_0^x или κ_l^x , соответственно принимается $\kappa_0^x = 0$ или $\kappa_l^x = 0$. В тех же случаях, если κ_0^x или κ_l^x получаются больше единицы, принимается $\kappa_0^x = 1$ или $\kappa_l^x = 1$.

Для расчета перекрытия принимается среднее значение коэффициента опорной пары

$$\kappa^x = \frac{1}{2}(\kappa_0^x + \kappa_l^x). \quad (2.4.2-3)$$

Исключение делается только при определении коэффициентов моментов в опорных сечениях (см. 6.1.5).

Если рассматриваемый трюм и оба смежных трюма загружены или не загружены,

$$\kappa^x = 1.$$

Если у судов с одинарным бортом концы флоров считаются по концам шарнирно опертыми,

$$\kappa^y = 0.$$

Если у судов с двойным бортом концы флоров считаются упруго заделанными, коэффициент опорной пары приближенно определяется по формуле

$$\kappa^y = 3 \frac{1 + \bar{p} \mu_\kappa}{3 + 2\lambda}, \quad (2.4.2-4)$$

где $\mu_{\kappa} = \frac{I_{\Phi} \left(\frac{D}{B}\right)^3}{I_{\text{ш}}}$; (2.4.2-5)

$$\lambda = \frac{D}{B};$$

$$\bar{p} = \frac{p_6}{p};$$

B — ширина судна;

D — высота борта,

I_{Φ} — момент инерции сечения флора;

$I_{\text{ш}}$ — момент инерции сечения диафрагмы двойного борта;

p — интенсивность расчетной нагрузки на днищевое перекрытие согласно 2.1.3;

p_6 — интенсивность расчетной нагрузки на двойной борт посередине высоты борта согласно п. 2.5.3.2.2 Правил.

При вычислении $\bar{p}$ значения p и p_6 считаются положительными в случае, если их воздействие направлено со стороны моря. Если расчет по формуле (2.4.2-4) приводит к $\kappa^v < 0$, принимается $\kappa^v = 0$.

2.4.3 Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, согласно формуле (6.3.2-1), определяется как

$$Q_{\Phi} = p a_{\Phi} l_{\Phi},$$

где p — расчетная нагрузка согласно 2.1.3;

a_{Φ} — расстояние между флорами;

l_{Φ} — расчетная длина пролета флора согласно 2.1.5.

2.4.4 Указания 2.2.4 применяются в полном объеме с учетом изменения обозначений:

$$\mu_0 = \frac{I_{\Phi}}{I_{\kappa}} \left(\frac{L_1}{l_{\Phi}}\right)^3;$$

$$\mu = \frac{I_{\Phi}}{I_{\text{с}}} \left(\frac{L_1}{l_{\Phi}}\right)^3.$$

2.4.5 Указания 2.2.5 применяются в полном объеме.

2.4.6 Согласно 2.1.2 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам перекрытий, соответствующих симметричному случаю, если число флоров $k_{\Phi} \leq 5$, и материалы гл. 6.6 также применительно к симметричному случаю при $k_{\Phi} > 5$.

2.4.7 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения флора без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi} l_{\Phi}}{m_{\Phi} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.4.7-1)$$

$$W'_{\phi} = \alpha_0 W'_{\kappa}; \quad (2.4.7-2)$$

$$W'_{\phi} = \alpha W'_{\text{с}} \quad (2.4.7-3)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{κ} — по формулам (2.4.7-4) — (2.4.7-6);

$W'_{\text{с}}$ — по формулам (2.4.7-7) — (2.4.7-9).

Требуемый момент сопротивления сечения вертикального кия определяется по следующим формулам:

$$W'_{\kappa} = \frac{Q_{\phi} L_1}{m_{\kappa} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.4.7-4)$$

$$W'_{\kappa} = \frac{W'_{\phi}}{\alpha_0}; \quad (2.4.7-5)$$

$$W'_{\kappa} = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_{\text{с}} \quad (2.4.7-6)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{ϕ} — по формулам (2.4.7-1) — (2.4.7-3);

$W'_{\text{с}}$ — по формулам (2.4.7-7) — (2.4.7-9).

Требуемый момент сопротивления сечения днищевого стрингера определяется по следующим формулам :

$$W'_{\text{с}} = \frac{Q_{\phi} L_1}{m_{\text{с}} k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (2.4.7-7)$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{W'_{\phi}}{\alpha}; \quad (2.4.7-8)$$

$$W'_{\kappa} = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_{\text{с}} \quad (2.4.7-9)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{ϕ} — по формулам (2.4.7-1) — (2.4.7-3);

W'_{κ} — по формулам (2.4.7-4) — (2.4.7-6).

Здесь коэффициенты m_{ϕ} , m_{κ} , $m_{\text{с}}$ определяются согласно 2.4.6 (при этом из значений m в сечении максимума изгибающего момента в пролете и в опорном сечении балки выбирается меньшее); коэффициент k_{σ} — согласно 2.1.3; коэффициенты α_0 и α — согласно 2.4.4 и 2.4.5; суммарная нагрузка Q_{ϕ} — по 2.4.3.

2.4.8 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам:
для флора

$$f'_c = \frac{n_\phi Q_\phi}{k_\tau \tau_n};$$

для вертикального кия

$$f'_c = \frac{n_k Q_\phi}{k_\tau \tau_n};$$

для днищевго стрингера

$$f'_c = \frac{n_c Q_\phi}{k_\tau \tau_n},$$

где коэффициенты n_ϕ , n_k , n_c определяются согласно 2.4.6; коэффициент k_τ — согласно 2.1.3, суммарная нагрузка Q_ϕ — по 2.4.3.

2.4.9 Числовой пример.

.1 Исходные данные:

— длина трюма $L_1 = 24,0$ м;

— ширина трюма $B = 27,5$ м;

— число флоров в трюме $k_\phi = 11$;

— расчетное расстояние между флорами $a_\phi = \frac{L_1}{k_\phi + 1} = \frac{24,0}{11 + 1} = 2,0$ м;

— число днищевых стрингеров на один борт — 2; соответственно число продольных связей $k_y = 5$;

— судно имеет двойной борт шириной 1,4 м, соответственно согласно 2.1.5 расчетная длина пролета флора $l_\phi = 26,1$ м;

— коэффициент допускаемых напряжений согласно п. 3.3.4.1.1

Правил

для флора $k_\sigma = k_\tau = 0,6$;

для вертикального кия и днищевго стрингера $k_\sigma = 0,35$; $k_\tau = 0,6$;

— нормативный предел текучести стали согласно п. 1.1.4.3 Правил $\sigma_n = 315$ МПа; $\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180$ МПа.

Рассматриваемый трюм загружен; интенсивность расчетной нагрузки, на днищевое перекрытие от воздействия груза с учетом противодействия со стороны моря согласно п. 3.3.3 Правил $p = 173$ кПа.

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая флором, согласно 2.4.3

$$Q_\phi = p a_\phi l_\phi = 173 \cdot 2,0 \cdot 26,1 = 9030 \text{ кН.}$$

Смежный трюм в корме:

— длина

$$L_0 = 20,0 \text{ м};$$

— трюм не загружен; интенсивность расчетной нагрузки от воздействия моря согласно п. 3.3.3 Правил

$$p_0 = -62,0 \text{ кПа};$$

Смежный трюм в носу:

— длина

$$L_l = 24,0 \text{ м};$$

— трюм загружен; интенсивность расчетной нагрузки на днищевое перекрытие от воздействия груза с учетом противодействия со стороны моря согласно п. 3.3.3 Правил

$$p_l = 173 \text{ кПа}.$$

Высота борта

$$D = 15,0 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки на двойной борт посередине высоты борта со стороны моря с учетом противодействия груза, согласно п.п. 2.5.3.2.2 и 3.3.3 Правил,

$$p_6 = -12,3 \text{ кПа}.$$

2 Безразмерные параметры. Согласно 2.4.4. и 2.4.5 зададим

$$\alpha_0 = \frac{W'_\Phi}{W'_K} = 0,30;$$

$$\alpha = \frac{W'_\Phi}{W'_C} = 0,36$$

и определим

$$\mu_0 = \alpha_0^{4/3} \left(\frac{L_1}{l_\Phi} \right)^3 = 0,30^{4/3} \left(\frac{24,0}{26,1} \right)^3 = 0,156;$$

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{L_1}{l_\Phi} \right)^3 = 0,36^{4/3} \left(\frac{24,0}{26,1} \right)^3 = 0,199.$$

3 Схема перекрытия; граничные условия. Рассматриваемое перекрытие симметрично относительно оси у. При определении коэффицента опорной пары для флора принимается

$$\frac{I_\Phi}{I_{ш}} = 2,2.$$

Тогда согласно 2.4.2

$$\mu_\kappa = \frac{I_\Phi}{I_{ш}} \left(\frac{D}{B} \right)^3 = 2,2 \left(\frac{15,0}{27,5} \right)^3 = 0,357;$$

$$\lambda = \frac{D}{B} = \frac{15,0}{27,5} = 0,545;$$

$$\bar{p} = \frac{p_6}{p} = -\frac{12,3}{173} = -0,0711;$$

$$\kappa^y = 3 \frac{1 + \bar{p}\mu_\kappa}{3 + 2\lambda} = 3 \frac{1 - 0,0711 \cdot 0,357}{3 + 2 \cdot 0,545} = 0,715.$$

Для продольных связей

$$\begin{aligned}
 \lambda_0 &= \frac{L_0}{L_1} = \frac{20,0}{24,0} = 0,833; \\
 \lambda_l &= \frac{L_l}{L_1} = \frac{24,0}{24,0} = 1,000; \\
 \bar{p}_0 &= \frac{p_0}{p} = -\frac{62,0}{173} = -0,358; \\
 \bar{p}_l &= \frac{p_l}{p} = \frac{173}{173} = 1,000; \\
 \kappa_0^x &= 3 \frac{2(1 + \lambda_l)(1 + \bar{p}_0 \lambda_0^3) - (1 + \bar{p}_l \lambda_l^3)}{4(1 + \lambda_0)(1 + \lambda_l) - 1} = \\
 &= 3 \frac{2(1 + 1)(1 - 0,358 \cdot 0,833^3) - (1 + 1 \cdot 1^3)}{4(1 + 0,833)(1 + 1) - 1} = 0,257 \\
 \kappa_l^x &= 3 \frac{2(1 + \lambda_0)(1 + \bar{p}_l \lambda_l^3) - (1 + \bar{p}_0 \lambda_0^3)}{4(1 + \lambda_0)(1 + \lambda_l) - 1} = \\
 &= 3 \frac{2(1 + 0,833)(1 + 1 \cdot 1^3) - (1 + 0,358 \cdot 0,833^3)}{4(1 + 0,833)(1 + 1) - 1} = 1,44
 \end{aligned}$$

Принимаем $\kappa_l^x = 1$. Осредненное значение

$$\kappa^x = \frac{1}{2}(\kappa_0^x + \kappa_l^x) = \frac{1}{2}(0,257 + 1) = 0,629.$$

4 Коэффициенты влияния флора от узловых реакций. Флор симметричен относительно середины пролета; составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_y = 5$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \kappa^y B_{11}^y = 0,1250 - 0,715 \cdot 0,0938 = 0,0579;$$

$$C_{12}^y = A_{12}^y - \kappa^y B_{12}^y = 0,2130 - 0,715 \cdot 0,1667 = 0,0938;$$

$$C_{13}^y = A_{13}^y - \kappa^y B_{13}^y = 0,1204 - 0,715 \cdot 0,1042 = 0,0459;$$

$$C_{21}^y = A_{21}^y - \kappa^y B_{21}^y = 0,1065 - 0,715 \cdot 0,0833 = 0,0469;$$

$$C_{22}^y = A_{22}^y - \kappa^y B_{22}^y = 0,1852 - 0,715 \cdot 0,1481 = 0,0793;$$

$$C_{23}^y = A_{23}^y - \kappa^y B_{23}^y = 0,1065 - 0,715 \cdot 0,0926 = 0,0403;$$

$$C_{31}^y = A_{31}^y - \kappa^y B_{31}^y = 0,0602 - 0,715 \cdot 0,0521 = 0,0229;$$

$$C_{32}^y = A_{32}^y - \kappa^y B_{32}^y = 0,1065 - 0,715 \cdot 0,0926 = 0,0403;$$

$$C_{33}^y = A_{33}^y - \kappa^y B_{33}^y = 0,0648 - 0,715 \cdot 0,0579 = 0,0234.$$

.5 Коэффициенты влияния флора от внешней нагрузки. Коэффициенты влияния флора от внешней нагрузки δ_i^y вычисляются по формуле (6.2.3). Поскольку флор загружен равномерно распределенной нагрузкой и симметричен относительно середины пролета, составляющие δ_i^y определяются по табл. 6.2.6-1.

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \kappa^y \gamma_1^y = 0,0781 - 0,715 \cdot 0,0625 = 0,0334;$$

$$\delta_2^y = \beta_2^y - \kappa^y \gamma_2^y = 0,0679 - 0,715 \cdot 0,0556 = 0,0281;$$

$$\delta_3^y = \beta_3^y - \kappa^y \gamma_3^y = 0,0395 - 0,715 \cdot 0,0347 = 0,0147.$$

.6 Определение вспомогательных параметров. Поскольку $k_\phi > 5$, согласно табл. 6.6.2, рассматриваемому перекрытию соответствует схема 5с; формулы для определения вспомогательных параметров жесткости приведены в табл. 6.6.3.

Кроме того, согласно формуле (1.4.3-6)

$$\frac{I_0^x}{I^x} = \frac{I_K}{I_c} = \left(\frac{W'_K}{W'_c} \right)^{4/3} = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^{4/3} = \left(\frac{0,36}{0,30} \right)^{4/3} = 1,275;$$

Из табл. 6.6.3

$$\begin{aligned} A_1 &= C_{11}^y + C_{12}^y \frac{\delta_2^y}{\delta_1^y} \left(\frac{I^x}{I_0^x} \right) + C_{13}^y \frac{\delta_3^y}{\delta_1^y} \left(\frac{I^x}{I_0^x} \right) = \\ &= 0,0579 + 0,0938 \frac{0,0281}{0,0334 \cdot 1,275} + 0,0459 \frac{0,0147}{0,0334 \cdot 1,275} = 0,1357; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= C_{22}^y + C_{21}^y \frac{\delta_1^y}{\delta_2^y} \left(\frac{I^x}{I_0^x} \right) + C_{23}^y \frac{\delta_3^y}{\delta_2^y} = \\ &= 0,0793 + 0,0469 \frac{0,0334 \cdot 1,275}{0,0281} + 0,0403 \frac{0,0147}{0,0281} = 0,1714; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_3 &= C_{33}^y + C_{31}^y \frac{\delta_1^y}{\delta_3^y} \left(\frac{I^x}{I_0^x} \right) + C_{32}^y \frac{\delta_2^y}{\delta_3^y} = \\ &= 0,0234 + 0,0229 \frac{0,0334 \cdot 1,275}{0,0147} + 0,0403 \frac{0,0281}{0,0147} = 0,1672; \end{aligned}$$

$$u_1 = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(k_\Phi + 1) \frac{\mu_0}{A_1}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(11 + 1) \frac{0,156}{0,1357}} = 1,067;$$

$$u_2 = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(k_\Phi + 1) \frac{\mu}{A_2}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(11 + 1) \frac{0,199}{0,1714}} = 1,069;$$

$$u_3 = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(k_\Phi + 1) \frac{\mu}{A_3}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2}(11 + 1) \frac{0,199}{0,1672}} = 1,076.$$

7 *Вычисление вспомогательных функций и безразмерных узловых реакций для флора.* Вспомогательные функции и безразмерные узловые реакции, согласно 6.6.5, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\varphi_0(u_1) = 0,419;$$

$$\varphi_1(u_1) = 0,815;$$

$$\varphi_0(u_2) = 0,416;$$

$$\varphi_1(u_2) = 0,814;$$

$$\varphi_0(u_3) = 0,408;$$

$$\varphi_1(u_3) = 0,810;$$

по формуле (6.6.5-2)

$$\varphi_r(u_1) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_1) + \kappa^x \varphi_1(u_1) = (1 - 0,629) \cdot 0,419 + 0,629 \cdot 0,815 = 0,668;$$

$$\varphi_r(u_2) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_2) + \kappa^x \varphi_1(u_2) = (1 - 0,629) \cdot 0,416 + 0,629 \cdot 0,814 = 0,666;$$

$$\varphi_r(u_3) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_3) + \kappa^x \varphi_1(u_3) = (1 - 0,629) \cdot 0,408 + 0,629 \cdot 0,810 = 0,661;$$

по формуле (6.6.5-1)

$$r_1 = \varphi_r(u_1) \frac{\delta_1^y}{A_1} = 0,668 \frac{0,0334}{0,1357} = 0,1645;$$

$$r_2 = \varphi_r(u_2) \frac{\delta_2^y}{A_2} = 0,666 \frac{0,0281}{0,1714} = 0,1094;$$

$$r_3 = \varphi_r(u_3) \frac{\delta_3^y}{A_3} = 0,661 \frac{0,0147}{0,1672} = 0,0581.$$

8 *Вычисление вспомогательных функций для вертикального кия и днищцевого стрингера.* Вспомогательные функции для вертикального кия по параметру u_1 и днищцевого стрингера по параметру u_2 , согласно 6.6.5, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\chi_0(u_1) = 0,526; \chi_0(u_2) = 0,523;$$

$$\chi_1(u_1) = 0,847; \chi_1(u_2) = 0,845;$$

$$\chi_2(u_1) = 0,873; \chi_2(u_2) = 0,872;$$

$$\mu_0(u_1) = 0,626; \mu_0(u_2) = 0,624;$$

$$\mu_1(u_1) = 0,901; \mu_1(u_2) = 0,900.$$

По формулам (6.6.4-4) — (6.6.4-6)

$$\eta_1 = \frac{\delta_1^y}{A_1}(k_\Phi + 1) = \frac{0,0334}{0,1357}(11 + 1) = 2,95;$$

$$\begin{aligned} \chi_m(u_1) &= (1 - \kappa^x)\chi_0(u_1) + \frac{1}{3} \kappa^x \chi_1(u_1) = \\ &= (1 - 0,629) \cdot 0,526 + \frac{1}{3} \cdot 0,629 \cdot 0,847 = 0,372; \end{aligned}$$

$$\mu_n(u_1) = (1 - \kappa^x)\mu_0(u_1) + \kappa^x \mu_1(u_1) = (1 - 0,629) \cdot 0,626 + 0,629 \cdot 0,901 = 0,799;$$

$$\eta_2 = \frac{\delta_2^y}{A_2}(k_\Phi + 1) = \frac{0,0281}{0,1714}(11 + 1) = 1,971;$$

$$\begin{aligned} \chi_m(u_2) &= (1 - \kappa^x)\chi_0(u_2) + \frac{1}{3} \kappa^x \chi_1(u_2) = \\ &= (1 - 0,629) \cdot 0,523 + \frac{1}{3} \cdot 0,629 \cdot 0,845 = 0,371; \end{aligned}$$

$$\mu_n(u_2) = (1 - \kappa^x)\mu_0(u_2) + \kappa^x \mu_1(u_2) = (1 - 0,629) \cdot 0,624 + 0,629 \cdot 0,900 = 0,798.$$

9 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для флора. По формулам табл. 6.5.7 для флоров как балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой и симметричных относительно середины пролета, при $k_y = 5$ определим коэффициенты m и n . Соотнесение обезличенных обозначений узловых реакций должно соответствовать схеме 5с (табл. 6.6.2)

$$n_\Phi = \frac{1}{2} (1 - r_1 - 2r_2 - 2r_3) = \frac{1}{2} (1 - 0,1645 - 2 \cdot 0,1094 - 2 \cdot 0,0581) = 0,250;$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_0} &= \frac{1}{36} (3 - \frac{9}{2} r_1 - 8r_2 - 5r_3) \kappa^y = \\ &= \frac{1}{36} (3 - \frac{9}{2} \cdot 0,1645 - 8 \cdot 0,1094 - 5 \cdot 0,0581) \cdot 0,715 = 0,0217; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{2} (n + r_3)^2 - \frac{r_3}{6} - \frac{1}{m_0} = \\
&= \frac{1}{2} (0,250 + 0,0581)^2 - \frac{0,0581}{6} - 0,0217 = 0,01613; \\
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{2} (n + r_2 + r_3)^2 - \frac{r_2}{3} - \frac{r_3}{6} - \frac{1}{m_0} = \\
&= \frac{1}{2} (0,250 + 0,1094 + 0,0581)^2 - \frac{0,1094}{3} - \frac{0,0581}{6} - 0,0217 = 0,01939.
\end{aligned}$$

Согласно 2.4.7 из полученного выбирается наименьшее значение m и для дальнейшего расчета принимается $m_{\phi} = 46,0$.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для вертикального кия и днищевого стрингера. Для вертикального кия и днищевого стрингера коэффициенты моментов и перерезывающей силы определяются по формулам (6.6.4-1) — (6.6.4-3):

для вертикального кия

$$\begin{aligned}
n_k &= \frac{1}{2} \eta_1 \mu_n(u_1) = \frac{1}{2} 2,96 \cdot 0,799 = 1,180; \\
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{8} \eta_1 \chi_m(u_1) = \frac{1}{8} 2,96 \cdot 0,372 = 0,1375; \\
\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{12} \eta_1 \chi_0^x \chi_2(u_1) = \frac{1}{12} 2,96 \cdot 0,257 \cdot 0,873 = 0,0552; \\
\frac{1}{m_l} &= \frac{1}{12} \eta_1 \chi_l^x \chi_2(u_1) = \frac{1}{12} 2,96 \cdot 1 \cdot 0,873 = 0,215;
\end{aligned}$$

согласно 2.4.7 из полученного выбирается наименьшее значение m , и

$$m_k = 4,65;$$

для днищевого стрингера

$$\begin{aligned}
n_c &= \frac{1}{2} \eta_2 \mu_n(u_2) = \frac{1}{2} 1,971 \cdot 0,798 = 0,786; \\
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{8} \eta_2 \chi_m(u_2) = \frac{1}{8} 1,971 \cdot 0,371 = 0,0915; \\
\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{12} \eta_2 \chi_0^x \chi_2(u_2) = \frac{1}{12} 1,971 \cdot 0,257 \cdot 0,872 = 0,0368; \\
\frac{1}{m_l} &= \frac{1}{12} \eta_2 \chi_l^x \chi_2(u_2) = \frac{1}{12} 1,971 \cdot 1 \cdot 0,872 = 0,1432;
\end{aligned}$$

согласно 2.4.7 из полученного выбирается наименьшее значение m , и

$$m_c = 6,98.$$

.11 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 2.4.7:

если предположить, что опасное сечение располагается во флоре,

$$W'_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi} l_{\Phi}}{m_{\Phi} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9030 \cdot 26,1}{46,0 \cdot 0,6 \cdot 315} 10^3 = 27,1 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\kappa} = \frac{W'_{\Phi}}{\alpha_0} = \frac{27,1 \cdot 10^3}{0,3} = 90,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\epsilon} = \frac{W'_{\Phi}}{\alpha} = \frac{27,1 \cdot 10^3}{0,36} = 75,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в вертикальном киле,

$$W'_{\kappa} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\kappa} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9030 \cdot 24}{4,65 \cdot 0,35 \cdot 315} 10^3 = 422 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\Phi} = \alpha W'_{\kappa} = 0,3 \cdot 422 \cdot 10^3 = 127 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\epsilon} = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_{\kappa} = \frac{0,3}{0,36} 422 \cdot 10^3 = 352 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в днищевом стрингере,

$$W'_{\epsilon} = \frac{Q_{\Phi} L_1}{m_{\epsilon} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{9030 \cdot 24}{6,98 \cdot 0,35 \cdot 315} 10^3 = 281 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\Phi} = \alpha W'_{\epsilon} = 0,36 \cdot 281 \cdot 10^3 = 101 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\kappa} = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_{\epsilon} = \frac{0,36}{0,3} 281 \cdot 10^3 = 338 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в вертикальном киле. Поэтому окончательно

$$W'_{\Phi} = 127 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{\kappa} = 422 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{\epsilon} = 352 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.12 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 2.4.8:

для флора

$$f'_{\epsilon} = \frac{n_{\Phi} Q_{\Phi}}{k_{\tau} \tau_n} = \frac{0,250 \cdot 9030}{0,6 \cdot 180} 10 = 209 \text{ см}^2;$$

для вертикального кия

$$f'_c = \frac{n_k Q_\Phi}{k_\tau \tau_n} = \frac{1,180 \cdot 9030}{0,6 \cdot 180} 10 = 987 \text{ см}^2;$$

для днищевых стрингера

$$f'_c = \frac{n_c Q_\Phi}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,786 \cdot 9030}{0,6 \cdot 180} 10 = 657 \text{ см}^2.$$

3 БОРТОВЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

3.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

3.1.1 Указания настоящего раздела относятся к расчету прочности регулярных бортовых перекрытий, в том числе перекрытий двойных бортов, согласно п. 2.5.4.4 Правил, а также к расчету системы перекрытий борта и продольной переборки, соединенных между собой распорками, в бортовых танках наливных судов с двумя продольными переборками при поперечной системе набора, согласно п. 2.5.4.5 Правил.

3.1.2 Внешняя нагрузка на перекрытие считается равномерно распределенной и воспринимается бортовыми стрингерами (платформами двойного борта) при поперечной системе набора или рамными шпангоутами (диафрагмами двойного борта) при продольной системе набора.

Если в системе перекрытий борт — продольная переборка бортовых танков наливных судов рассчитывается бортовое перекрытие, оно считается загруженным только нагрузкой от воздействия моря; при расчете в указанной системе перекрытия продольной переборки оно считается загруженным нагрузкой от воздействия жидкого груза.

3.1.3 Интенсивность расчетной нагрузки на бортовое перекрытие определяется посередине его высоты согласно п.2.5.3.1 Правил для одинарного борта и п.2.5.3.2.2 Правил для двойного борта. Расчетное давление на перекрытия продольной переборки, которое рассчитывается в составе системы перекрытий борт — продольная переборка, определяется согласно п. 2.7.3.2 Правил.

При определении размеров связей перекрытия коэффициенты

допускаемых напряжений должны выбираться в соответствии с требованиями п. 2.5.4.4 Правил для бортовых стрингеров, п. 2.5.4.5 Правил для рамных шпангоутов и п. 2.7.4.3.1 Правил для рамных связей продольных переборок.

3.1.4 Бортовое перекрытие считается составленным из взаимно пересекающегося рамного набора борта — рамных шпангоутов и бортовых стрингеров (диафрагм и платформ у двойного борта).

3.1.5 В качестве расчетной длины перекрытия принимается длина трюма (танка) — расстояние между поперечными переборками, включая кницы. Расчетная ширина (высота) перекрытия — расстояние от верхней кромки флоров при одинарном дне или от настила второго дна до настила палубы или нижней кромки рамных бимсов, если таковые установлены на всех рамных шпангоутах, для одинарного борта.

3.1.6 В расчетах перекрытий ось x считается направленной по длине судна, ось y — по высоте борта. Для выделения величин, относящихся к разным балкам перекрытия, используются следующие индексы:

- ш — для рамного шпангоута,
- с — для бортового стрингера.

3.2 РЕГУЛЯРНЫЕ БОРТОВЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

3.2.1 В данной главе рассматриваются регулярные бортовые перекрытия судов всех типов, в том числе перекрытия двойных бортов, за исключением:

бортовых перекрытий в бортовых танках наливных судов, соединенных распорками с перекрытиями продольных переборок (они рассмотрены особо в гл. 3.3);

перекрытий двойных бортов контейнеровозов с широким раскрытием палубы (они требуют специального рассмотрения).

3.2.2 Бортовые стрингеры (платформы двойного борта) считаются жестко заделанными на поперечных переборках; соответственно коэффициент опорной пары

$$\kappa^x = 1.$$

Рамные шпангоуты (диафрагмы двойного борта) в трюмах многопалубных судов упруго заделаны по концам с коэффициентом опорной пары

$$\kappa^y = 0,4.$$

Рамные шпангоуты в междупалубных помещениях и надстройках

упруго заделаны по концам с коэффициентом опорной пары

$$\kappa^y = 0,3.$$

Рамные шпангоуты в грузовых помещениях однопалубных судов
упруго заделаны по концам с коэффициентом опорной пары
у нижнего конца

$$\kappa_0^y = 0,5;$$

у верхнего конца

$$\kappa_l^y = 0,3.$$

При этом для расчета перекрытия принимается среднее значение

$$\kappa^y = 0,4,$$

различие значений κ_0^y и κ_l^y учитывается только при определении коэффициентов моментов в опорных сечениях (см. 6.1.5).

3.2.3 Суммарная внешняя нагрузка, согласно формулам (6.3.2-1) и (6.3.2-2), воспринимаемая:

при поперечной системе набора бортовыми стрингерами,

$$Q_c = p a_c L_1,$$

при продольной системе набора рамными шпангоутами,

$$Q_{ш} = p a_{ш} l_{ш},$$

где p — расчетная нагрузка согласно 3.1.3;
 a_c — расстояние между бортовыми стрингерами;
 $a_{ш}$ — расстояние между рамными шпангоутами;
 $l_{ш}$ — расчетный пролет рамного шпангоута.

3.2.4 Согласно 1.5.2 задается соотношение моментов инерции

$$\frac{I_{ш}}{I_c},$$

с использованием которого по формуле (1.4.3-4) вычисляется параметр относительной жесткости балок перекрытия

$$\mu = \frac{I_{ш}}{I_c} \left(\frac{L_1}{l_{ш}} \right)^3.$$

3.2.5 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 3.2.4 позволяет определить соотношение требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытия без надбавок на износ

$$\alpha = \frac{W'_{ш}}{W'_c} = \left(\frac{I_{ш}}{I_c} \right)^{3/4}.$$

3.2.6 Согласно 3.1.2 и 3.2.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам перекрытий, соответствующих симметричному случаю, если число рамных шпангоутов $k_{ш} \leq 5$ (при поперечной системе набора), и материалы гл. 6.6 также применительно к симметричному случаю при $k_{ш} > 5$.

3.2.7 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения рамного шпангоута без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{ш} = \frac{Q_c L_{ш}}{m_{ш} k_{\sigma} \sigma_n} \text{ при поперечной системе набора;} \quad (3.2.7-1)$$

$$W'_{ш} = \frac{Q_{ш} L_{ш}}{m_{ш} k_{\sigma} \sigma_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

$$W'_{ш} = \alpha W'_c \quad (3.2.7-2)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_c — по формулам (3.2.7-3), (3.2.7-4).

Требуемый момент сопротивления сечения бортового стрингера определяется по следующим формулам:

$$W'_{ш} = \frac{Q_c L_1}{m_c k_{\sigma} \sigma_n} \text{ при поперечной системе набора;} \quad (3.2.7-3)$$

$$W'_{ш} = \frac{Q_{ш} L_1}{m_c k_{\sigma} \sigma_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

$$W'_c = \frac{W'_{ш}}{\alpha} \quad (3.2.7-4)$$

в зависимости от того, что больше,

где $W'_{ш}$ — по формулам (3.2.7-1), (3.2.7-2).

Здесь коэффициенты m_c и $m_{ш}$ определяются согласно 3.2.6; (при этом из значений m в сечении максимума изгибающего момента в пролете и в опорном сечении балки выбирается меньшее); коэффициент k_σ — согласно 3.1.3; коэффициент α — согласно 3.2.4 или 3.2.5; суммарная нагрузка $Q_{ш}$ или Q_c — по 3.2.3.

3.2.8 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам:

для рамного шпангоута

$$f'_c = \frac{n_{ш}Q_c}{k_\tau \tau_n} \text{ при поперечной системе набора;}$$

$$f'_c = \frac{n_{ш}Q_{ш}}{k_\tau \tau_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

для бортового стрингера

$$f'_c = \frac{n_c Q_c}{k_\tau \tau_n} \text{ при поперечной системе набора;}$$

$$f'_c = \frac{n_c Q_{ш}}{k_\tau \tau_n} \text{ при продольной системе набора,}$$

где коэффициенты $n_{ш}$ и n_c определяются согласно 3.2.6, коэффициент k_τ — согласно 3.1.3, суммарная нагрузка $Q_{ш}$ или Q_c — по 3.2.3.

3.2.9 Числовой пример. Поперечная система набора; однопалубное судно.

1 Исходные данные:

— длина перекрытия (расстояние между поперечными переборками согласно 3.1.5) $L_1 = 12,0$ м;

— ширина перекрытия (расчетная длина пролета рамного шпангоута согласно 3.1.5) $B_1 = 7,5$ м;

— число рамных шпангоутов $k_{ш} = 1$;

— число бортовых стрингеров $k_c = 2$;

— расчетное расстояние между бортовыми стрингерами

$$a_c = \frac{l_{ш}}{k_c + 1} = \frac{7,5}{2 + 1} = 2,5 \text{ м;}$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно п.3.1.3 Правил $p = 39,8$ кПа;

— коэффициент допускаемых напряжений согласно п. 3.1.3 Правил для рамного шпангоута $k_\sigma = k_\tau = 0,65$;

для бортового стрингера (для нижнего стрингера $k_\sigma = 0,58$, для верхнего — $k_\sigma = 0,55$; принято более жесткое ограничение) $k_\sigma = 0,55$;
 $k_\tau = 0,65$;

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил
 $\sigma_n = 235$ МПа, $\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 235 = 134$ МПа.

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая бортовым стрингером, согласно 2.2.3

$$Q_c = p a_c L_1 = 39,8 \cdot 2,5 \cdot 12,0 = 1194 \text{ кН.}$$

.2 Безразмерные параметры. Согласно 3.2.4 и 3.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_{\text{ш}}}{W'_c} = 1,0$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{L_1}{l_{\text{ш}}} \right)^3 = 1,0^{4/3} \left(\frac{12,0}{7,5} \right)^3 = 4,10.$$

.3 Схема перекрытия; граничные условия. Перекрытие симметрично относительно осей x и y . Согласно 3.2.2 коэффициенты опорной пары рамных шпангоутов

— у нижнего конца $\varkappa_0^y = 0,5$;

— у верхнего конца $\varkappa_l^y = 0,3$.

Среднее значение $\varkappa^y = 0,4$.

Для бортового стрингера $\varkappa^x = 1$.

.4 Коэффициенты влияния бортового стрингера от узловых реакций.

Перекрытие симметрично относительно осей x и y , составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2. Для бортового стрингера при $k_x = 1$ по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^x = A_{11}^x - \varkappa^x B_{11}^x = 0,1250 - 1,0 \cdot 0,0938 = 0,0312.$$

.5 Коэффициенты влияния рамного шпангоута. Составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_y = 2$.

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \varkappa^y B_{11}^y = 0,1852 - 0,4 \cdot 0,1481 = 0,1260.$$

.6 Коэффициенты влияния бортового стрингера от внешней нагрузки. Поскольку бортовой стрингер загружен равномерно распределенной нагрузкой и условия его закрепления симметричны, составляющие коэффициентов влияния определяются по табл. 6.2.6-1 при $k_x = 1$, а коэффициент влияния для бортового стрингера δ_1^x определяется по формуле (6.2.3).

$$\delta_1^x = \beta_1^x - \varkappa^x \gamma_1^x = 0,0781 - 1,0 \cdot 0,0625 = 0,0156.$$

.7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Согласно 3.2.6 в табл. 6.3.3 рассматриваемому перекрытию соответствует схема 2.1с, для которой искомые коэффициенты приведены в п. 6.3.4:

$$a_{11} = \mu C_{11}^x + C_{11}^y = 4,10 \cdot 0,0312 + 0,1260 = 0,254.$$

.8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 2.1с, у которого загружены балки, параллельные оси x , коэффициенты b_i определяются по формулам табл. 6.3.5-2:

$$b_1 = \mu \delta_1^x = 4,10 \cdot 0,0156 = 0,0639.$$

.9 Решение системы уравнений. В данном случае упомянутая система согласно 6.3.1 сводится к одному уравнению

$$a_{11}r_1 = b_1,$$

из которого

$$r_1 = \frac{b_1}{a_{11}} = \frac{0,0639}{0,254} = 0,252.$$

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для бортовых стрингеров. Поскольку бортовые стрингеры загружены равномерно распределенной нагрузкой, симметричны относительно середины пролета и загружены одной узловой реакцией, согласно 6.5.7 следует воспользоваться формулами табл. 6.5.7, приняв согласно табл. 6.5.2-2 для схемы 2.1с

$$r_a = r_1.$$

Тогда

$$n_c = \frac{1}{2} (1 - r_1) = \frac{1}{2} (1 - 0,252) = 0,374.$$

$$\frac{1}{m_0} = \left(\frac{1}{12} - \frac{r_1}{8} \right) \kappa^x = \left(\frac{1}{12} - \frac{0,252}{8} \right) \cdot 1 = 0,0519;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2} 0,374^2 - 0,0518 = 0,0181.$$

Из двух последних значений m выбирается наименьшее

$$m_c = 19,3.$$

.11 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для рамного шпангоута. Последний загружен симметрично только двумя узловыми реакциями r_1 . Поэтому согласно 6.5.2 искомые коэффициенты определяются формулами табл. 6.5.2-1 при $k_y=2$ и согласно табл. 6.5.2-3 для схемы 2.1с

$$r_a = r_1 .$$

Тогда

$$n_{ш} = r_1 = 0,252.$$

Коэффициент m_0 согласно указаниям 3.2.2 следует вычислять в трех вариантах:

по среднему значению $\varkappa^y = 0,4$, чтобы воспользоваться им при определении коэффициента m_m

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_1 \varkappa^y = \frac{2}{9} 0,252 \cdot 0,4 = 0,0224,$$

а также по $\varkappa_0^y = 0,5$ и $\varkappa_l^y = 0,3$ для прямых оценок значений изгибающих моментов в опорных сечениях

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_1 \varkappa_0^y = \frac{2}{9} 0,252 \cdot 0,5 = 0,0280,$$

$$\frac{1}{m_l} = \frac{2}{9} r_1 \varkappa_l^y = \frac{2}{9} 0,252 \cdot 0,3 = 0,0168.$$

Кроме того,

$$m_m = \frac{1}{3} r_1 - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{3} 0,252 - 0,0224 = 0,0616.$$

Из трех последних значений m выбирается наименьшее

$$m_{ш} = 16,2.$$

.12 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 3.2.7:

если предположить, что опасное сечение располагается в бортовом стрингере,

$$W'_c = \frac{Q_c L_1}{m_c k_\sigma \sigma_n} = \frac{1194 \cdot 12,0}{19,3 \cdot 0,55 \cdot 235} 10^3 = 5,75 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ш} = \alpha W'_c = 1 \cdot 5,75 \cdot 10^3 = 5,75 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в рамном шпангоуте,

$$W'_{ш} = \frac{Q_c l_{ш}}{m_{ш} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{1194 \cdot 7,5}{16,2 \cdot 0,65 \cdot 235} 10^3 = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \frac{W'_{ш}}{\alpha} = \frac{3,61}{1} = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в бортовом стрингере. Поэтому окончательно

$$W'_{ш} = 5,75 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_c = 5,75 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

1.13 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 3.2.8:

для бортового стрингера

$$f'_c = \frac{n_c Q_c}{k_{\tau} \tau_n} = \frac{0,374 \cdot 1194}{0,65 \cdot 134} 10 = 51,3 \text{ см}^2;$$

для рамного шпангоута

$$f'_c = \frac{n_{ш} Q_c}{k_{\tau} \tau_n} = \frac{0,252 \cdot 1194}{0,65 \cdot 134} 10 = 34,5 \text{ см}^2.$$

3.2.10 Числовой пример. Продольная система набора; двойной борт; трюм двухпалубного судна.

1 Исходные данные:

— длина перекрытия (расстояние между поперечными переборками согласно 3.1.5) $L_1 = 21,0 \text{ м};$

— ширина перекрытия (расчетная длина диафрагмы согласно 3.1.5) $l_{ш} = 12,0 \text{ м};$

— число диафрагм $k_{ш} = 6;$

— число платформ $k_c = 1;$

— расчетное расстояние между диафрагмами $a_{ш} = \frac{L_1}{k_{ш} + 1} = \frac{21,0}{6 + 1} = 3,0 \text{ м};$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно п. 2.5.3.2.2 Правил $p = 89,4 \text{ кПа};$

— коэффициент допускаемых напряжений согласно 3.1.3

для диафрагмы $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,65;$

для платформ $k_{\sigma} = 0,50; k_{\tau} = 0,65;$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил $\sigma_n = 315 \text{ МПа}; \tau_n = 0,57 \sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180 \text{ МПа}.$

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая диафрагмой, согласно 3.2.3

$$Q_{\text{ш}} = p a_{\text{ш}} l_{\text{ш}} = 89,4 \cdot 3,0 \cdot 12,0 = 3220 \text{ кН.}$$

2 Безразмерные параметры. Согласно 3.2.4 и 3.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_{\text{ш}}}{W'_c} = 0,30$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{L_1}{l_{\text{ш}}} \right)^3 = 0,30^{4/3} \left(\frac{21,0}{12,0} \right)^3 = 1,077.$$

3 Схема перекрытия; граничные условия. Рассматриваемое перекрытие симметрично относительно осей x и y . Согласно 3.2.2 коэффициент опорной пары рамного шпангоута (диафрагмы) для трюмов многопалубных судов $\varkappa^y = 0,4$. Перекрестные связи (платформы) жестко заделаны на переборках и $\varkappa^x = 1$.

4 Коэффициенты влияния диафрагмы от узловых реакций. Диафрагма симметрична относительно середины пролета; составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_y = 1$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \varkappa^y B_{11}^y = 0,1250 - 0,4 \cdot 0,0938 = 0,0875.$$

5 Коэффициенты влияния диафрагмы от внешней нагрузки. Коэффициенты влияния диафрагмы от внешней нагрузки δ_i^y вычисляются по формуле (6.2.3). Поскольку диафрагма загружена равномерно распределенной нагрузкой и симметрична относительно середины пролета, составляющие δ_i^y определяются по табл. 6.2.6-1.

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \varkappa^y \gamma_1^y = 0,0781 - 0,4 \cdot 0,0625 = 0,0531.$$

6 Определение вспомогательных параметров. Поскольку $k_{\text{ш}} > 5$, согласно табл. 6.6.2, рассматриваемому перекрытию соответствует схема 1с; формулы для определения вспомогательных параметров жесткости приведены в табл. 6.6.3.

$$A_1 = C_{11}^y = 0,0875;$$

$$u_1 = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (k_{\text{ш}} + 1) \frac{\mu}{A_1}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (6 + 1) \frac{1,077}{0,0875}} = 1,686.$$

.7 *Вычисление вспомогательных функций и безразмерных узловых реакций для диафрагмы.* Вспомогательные функции и безразмерные узловые реакции, согласно 6.6.5, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\varphi_1(u_1) = 0,345;$$

по формуле (6.6.5-2)

$$\varphi_r(u_1) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_1) + \kappa^x \varphi_1(u_1) = 1 \cdot 0,345 = 0,345;$$

по формуле (6.6.5-1)

$$r_1 = \varphi_r(u_1) \frac{\delta_1^y}{\Delta_1} = 0,345 \frac{0,0531}{0,0875} = 0,210.$$

.8 *Вычисление вспомогательных функций для платформы.* Вспомогательные функции для платформы по параметру u_1 , согласно 6.6.4, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\chi_1(u_1) = 0,453;$$

$$\chi_2(u_1) = 0,545;$$

$$\mu_1(u_1) = 0,644.$$

По формулам (6.6.4-4) — (6.6.4-6)

$$\eta_1 = \frac{\delta_1^y}{\Delta_1} (k_{\text{ш}} + 1) = \frac{0,0531}{0,0875} (6 + 1) = 4,25;$$

$$\chi_m(u_1) = (1 - \kappa^x) \chi_0(u_1) + \frac{1}{3} \kappa^x \chi_1(u_1) = \frac{1}{3} 1 \cdot 0,453 = 0,1508;$$

$$\mu_n(u_1) = (1 - \kappa^x) \mu_0(u_1) + \kappa^x \mu_1(u_1) = 1 \cdot 0,644 = 0,644.$$

.9 *Коэффициенты момента и перерезывающей силы для диафрагмы.* По формулам табл. 6.5.7 для диафрагмы как балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой и симметричной относительно середины пролета, при $k_y = 1$ и очевидном соотношении обозначений по схеме перекрытия 1с (табл. 6.6.2) $r_a = r_1$ определим коэффициенты m и n .

$$n_{\text{ш}} = \frac{1}{2} (1 - r_1) = \frac{1}{2} (1 - 0,210) = 0,395;$$

$$\frac{1}{m_0} = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8} r_1 \right) \kappa^y = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8} 0,210 \right) \cdot 0,4 = 0,0228;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2} 0,395 - 0,228 = 0,0552.$$

Согласно 3.2.7 из полученного выбирается наименьшее значение m , и для дальнейшего расчета принимается $m_{ш} = 18,1$.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для платформы. Для платформы коэффициенты момента и перерезывающей силы определяются по формулам (6.6.4-1) — (6.6.4-3):

$$n_c = \frac{1}{2} \eta_1 \mu_n(u_1) = \frac{1}{2} 4,25 \cdot 0,644 = 1,369;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{8} \eta_1 \chi_m(u_1) = \frac{1}{8} 4,25 \cdot 0,1508 = 0,0801;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{12} \eta_1 \chi^x \chi_2(u_1) = \frac{1}{12} 4,25 \cdot 0,545 = 0,193.$$

Согласно 3.2.7 из полученного выбирается наименьшее значение m , и

$$m_c = 5,19.$$

.11 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 2.4.7:

если предположить, что опасное сечение располагается в диафрагме,

$$W'_{ш} = \frac{Q_{ш} l_{ш}}{m_{ш} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{3220 \cdot 12,0}{18,1 \cdot 0,65 \cdot 315} 10^3 = 10,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \frac{W'_{ш}}{\alpha} = \frac{10,4 \cdot 10^3}{0,3} = 34,7 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в платформе,

$$W'_c = \frac{Q_{ш} L_1}{m_c k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{3220 \cdot 21,0}{5,19 \cdot 0,5 \cdot 315} 10^3 = 82,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ш} = \alpha W'_c = 0,3 \cdot 82,8 \cdot 10^3 = 24,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в платформе. Поэтому окончательно

$$W'_{ш} = 24,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_c = 82,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.12 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 2.4.8:

для диафрагмы

$$f'_c = \frac{n_{ш} Q_{ш}}{k_{\tau} \tau_n} = \frac{0,395 \cdot 3220}{0,65 \cdot 180} 10 = 109 \text{ см}^2;$$

для платформы

$$f'_c = \frac{n_c Q_{ш}}{k_{\tau} \tau_n} = \frac{1,369 \cdot 3220}{0,65 \cdot 180} 10 = 377 \text{ см}^2.$$

3.3 СИСТЕМА ПЕРЕКРЫТИЙ БОРТ — ПРОДОЛЬНАЯ ПЕРЕБОРКА В БОРТОВЫХ ТАНКАХ НАЛИВНЫХ СУДОВ

3.3.1 В данной главе рассматриваются как единая система перекрытия борта и продольной переборки, соединенные распорками, в бортовых танках наливных судов с двумя продольными переборками при поперечной системе набора.

3.3.2 В дополнение к индексам согласно 3.1.6, выделяющим величины, относящиеся к разным связям системы перекрытий, в данной главе также используются следующие индексы:

ст — для рамной стойки продольной переборки;

гр — для горизонтальной рамы продольной переборки;

б — для бортового перекрытия в целом;

п — для перекрытия продольной переборки в целом;

р — для распорки.

3.3.3 Указания 3.2.2 к условиям закрепления концов балок бортовых перекрытий однопалубных судов распространяются в полном объеме как на бортовые перекрытия, так и на перекрытия продольных переборок.

3.3.4 В дополнение к исходным предпосылкам и допущениям гл.1.3 принимается следующее:

Плоскости перекрытий борта и продольной переборки параллельны; схемы расположения балок в обоих перекрытиях одинаковы.

Распорки передают на балки перекрытия только сосредоточенные усилия, перпендикулярные плоскости перекрытия.

В расчете можно пренебречь влиянием собственных деформаций распорок от действия воспринимаемых ими усилий от прогиба балок перекрытий.

Распорки устанавливаются между бортовыми стрингерами и горизонтальными рамами продольной переборки. Расстояния между ними, а также между распоркой и поперечной переборкой одинаковы.

В отличие от 1.4.1 в данной главе используется расширенное толкование определения узла перекрытия. Узлом считается не только точка пересечения осевых линий балок перекрытия разных направлений, но и точки пересечения оси балки с осью распорки.

3.3.5 Согласно 3.1.2 внешняя нагрузка воспринимается только бортовыми стрингерами, и ее суммарная величина определяется по формуле

$$Q_c = p a_c L_1,$$

где p — расчетная нагрузка согласно 3.1.3;

a_c — расстояние между бортовыми стрингерами.

3.3.6 Согласно 1.5.2 задаются соотношения моментов инерции непосредственно

$$i_c = \frac{I_c}{I_{гр}}; i_{ш} = \frac{I_{ш}}{I_{ст}}$$

и в составе безразмерных параметров относительной жесткости балок перекрытий

$$\mu_c = \frac{I_c}{I_{ш}} \left(\frac{l_{ш}}{L_1} \right)^3; \mu_{п} = \frac{I_{гр}}{I_{ст}} \left(\frac{l_{ш}}{L_1} \right)^3,$$

где $l_{ш}$ — расчетный пролет рамного шпангоута (рамной стойки продольной переборки) согласно 3.1.5.

3.3.7 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 3.3.6 позволяет определить без учета надбавок на износ соотношения требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытий и наоборот:

$$\alpha_6 = \frac{W'_c}{W'_{ш}} = \left(\frac{I_c}{I_{ш}} \right)^{3/4}; \alpha_{п} = \frac{W'_{гр}}{W'_{ст}} = \left(\frac{I_{гр}}{I_{ст}} \right)^{3/4};$$

$$\alpha_c = \frac{W'_c}{W'_{гр}} = i_c^{3/4}; \alpha_{ш} = \frac{W'_{ш}}{W'_{ст}} = i_{ш}^{3/4};$$

Соответственно

$$\alpha_{п} = \alpha_6 \frac{\alpha_{ш}}{\alpha_c}.$$

3.3.8 Схемы рассматриваемых перекрытий представлены в табл.3.3.8. Все перекрытия имеют две оси симметрии x и y . Ось y совпадает с рамным шпангоутом (рамной стойкой продольной переборки). Жирными точками на схемах обозначены места установки распорок, и приведена нумерация узлов с учетом симметрии.

Каждой схеме перекрытия в таблице присвоен собственный индекс, который используется в Методике для ссылок. Индекс состоит из двух целых чисел и буквы:

первое число соответствует k_y — числу узлов в балке, параллельной оси y ;

второе число соответствует k_x — числу узлов в балке, параллельной оси x ;

буква «д» введена, чтобы отличить индексы схем рассматриваемых перекрытий от индексов схем, представленных в табл. 6.6.3.

В таблице также для каждой схемы приведены значения ω — число неизвестных безразмерных узловых реакций r_j (пояснения см. в 3.3.9), в последней колонке — номера таблиц, в которых содержатся формулы для определения коэффициентов a_{ji} системы уравнений для определения неизвестных r_j .

3.3.9 Для определения узловых реакций используется система уравнений, указанная в 6.3.1, где a_{ji} — коэффициенты при неизвестных системы уравнений, определяемые согласно 3.3.10;

b_i — коэффициенты — свободные члены системы уравнений, определяемые согласно 3.3.11;

r_j — безразмерные значения узловых реакций, определяемые из решения указанной системы уравнений.

В данном случае

$$r_j = \frac{R_j}{Q_c},$$

где R_j — значение j -ой узловой реакции;

Q_c — согласно 3.3.5.

В отличие от 6.3.1 имеются особенности в нумерации ji и обозначении неизвестных. Узел 1 является, согласно 3.3.4, одновременно точкой пересечения осевых линий балок перекрытия разных направлений и точкой пересечения осей балок перекрытия с осью распорки. Поэтому для него требуется определение трех неизвестных безразмерных реакций:

r_1^6 — реакция рамного шпангоута, поддерживающая бортовой стрингер;

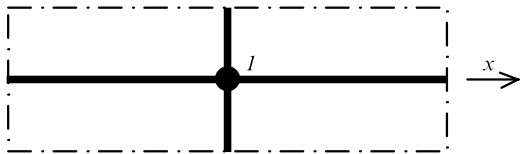
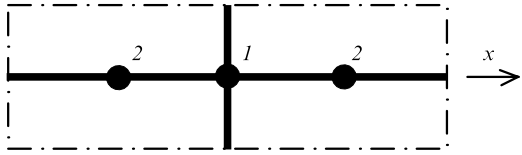
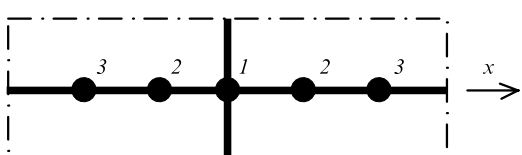
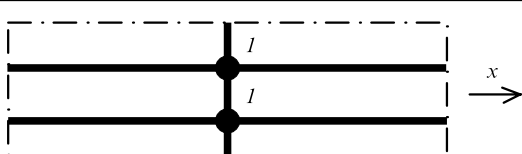
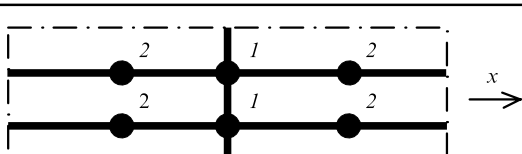
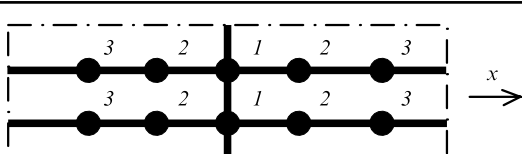
r_1^{Π} — реакция рамной стойки, поддерживающая горизонтальную раму продольной переборки;

r_1^P — реакция, передаваемая распоркой, поддерживающая рамный шпангоут и нагружающая рамные стойки продольной переборки.

Остальные узловые реакции на схемах в табл. 3.3.8 (r_2, r_3) не имеют особенностей. Эти реакции, передаваемые распорками, поддерживают борто-

вой стрингер и нагружают горизонтальную раму продольной переборки.

Таблица 3.3.8

Схемы нумерации узлов системы перекрытий с распорками при определении узловых реакций	k_x	Индекс	ω	№ табл.
Схема 	1	1.1д	3	3.3.10-1
	3	1.2д	4	3.3.10-2
	5	1.3д	5	3.3.10-3
	1	2.1д	3	3.3.10-1
	3	2.2д	4	3.3.10-2
	5	2.3д	5	3.3.10-3

3.3.10 Формулы для определения коэффициентов a_{ji} при неизвестных системы уравнений по 6.3.1 представлены в табл. 3.3.10-1 — 3.3.10-3. В названии каждой таблицы перечислены индексы схем перекрытий согласно 3.3.8, которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной колонке. В первой колонке таблицы приведены номера уравнений, которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной строке.

Фигурирующие в таблицах коэффициенты влияния балок от узловых реакций C_{ij} определяются согласно 6.2, имеют дополнительный надстрочный индекс x или y , обозначающий принадлежность коэффициента балке, параллельной оси x или y . Подстрочные индексы в C_{ij} соответствуют нумерации узлов в пределах каждой балки, принятой в 6.2.4 для симметричного случая, совпадают с нумерацией узлов на схемах перекрытий в табл. 3.3.8 и зависят от числа узлов в пределах этой балки k_x или k_y .

Таблица 3.3.10-1

Коэффициенты a_{ji} для схем 1.1д и 2.1д

№ уравнения	Обозначение неизвестных		
	r_1^b	$r_1^п$	r_1^p
1	$C_{11}^x + \mu_6 C_{11}^y$	0	$-\mu_6 C_{11}^y$
2	0	$C_{11}^x + \mu_n C_{11}^y$	$\mu_n C_{11}^y$
3	-1	$i_{ш}$	$1 + i_{ш}$

Таблица 3.3.10-2

Коэффициенты a_{ji} для схем 1.2д и 2.2д

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1^b	$r_1^п$	r_1^p	r_2
1	$C_{11}^x + \mu_6 C_{11}^y$	0	$-\mu_6 C_{11}^y$	C_{12}^x
2	0	$C_{11}^x + \mu_n C_{11}^y$	$\mu_n C_{11}^y$	$-C_{12}^x$
3	-1	$i_{ш}$	$1 + i_{ш}$	0
4	C_{21}^x	$-i_c C_{21}^x$	0	$(1 + i_c) C_{22}^x$

Таблица 3.3.10-3

Коэффициенты a_{ji} для схем 1.3д и 2.3д

№ уравнения	Обозначение неизвестных				
	r_1^{δ}	r_1^{Π}	r_1^{Π}	r_2	r_3
1	$C_{11}^x + \mu_6 C_{11}^y$	0	$-\mu_6 C_{11}^y$	C_{12}^x	C_{13}^x
2	0	$C_{11}^x + \mu_n C_{11}^y$	$\mu_n C_{11}^y$	$-C_{12}^x$	$-C_{13}^x$
3	-1	$i_{ш}$	$1 + i_{ш}$	0	0
4	C_{21}^x	$-i_c C_{21}^x$	0	$(1 + i_c) C_{22}^x$	$(1 + i_c) C_{23}^x$
5	C_{31}^x	$-i_c C_{31}^x$	0	$(1 + i_c) C_{32}^x$	$(1 + i_c) C_{33}^x$

В формулах таблиц фигурируют безразмерные параметры и соотношения согласно 3.3.6.

3.3.11 Формулы для определения коэффициентов b_i — свободных членов системы уравнений по 6.3.1 представлены в табл. 3.3.11. В головке таблицы указаны номера уравнений, которым принадлежат коэффициенты b_i в данной колонке, а в первой колонке перечислены индексы схем перекрытий из табл. 3.3.8, для которых коэффициенты данной строки должны быть использованы при составлении системы уравнений.

Фигурирующие в таблице коэффициенты влияния бортового стрингера от внешней нагрузки δ_i^x определяются согласно 6.2 для симметричного случая и равномерно распределенной нагрузки. Подстрочный индекс в δ_i^x соответствует нумерации узлов, принятый для каждой балки в 6.2.5, совпадающий с нумерацией узлов на бортовых стрингерах у схем перекрытий в табл. 3.3.8, и зависит от числа узлов в пределах стрингера k_x .

Таблица 3.3.11

Коэффициенты b_i

Индекс схемы	№ уравнения				
	1	2	3	4	5
1.1.д; 2.1д	δ_1^x	0	0	—	—
1.2.д; 2.2д	δ_1^x	0	0	δ_2^x	—
1.3.д; 2.3д	δ_1^x	0	0	δ_2^x	δ_3^x

3.3.12 Метод решения системы уравнений для определения узловых реакций перекрытий по 6.3.1 не регламентируется, и в материалы расчета, представляемые на согласование Регистру, может не включаться. Обязательна, однако, проверка правильности определения значений узловых реакций подстановкой их в уравнения по 6.3.1.

3.3.13 Формулы для определения коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n для бортового стрингера приведены в табл. 6.5.7. Соотнесение обезличенной буквенной нумерации безразмерных узловых реакций r_a, r_b, r_c в формулах этой таблицы с обозначениями реакций у рассчитываемого перекрытия выполняется с помощью табл. 3.3.13-1.

Таблица 3.3.13-1

Соотнесение обозначений узловых реакций в табл. 6.5.7 с обозначениями узловых реакций для бортового стрингера

Обозначение r_j в табл. 6.5.7	Индекс схемы		
	1.1д; 2.1д	1.2д; 2.2д	1.3д; 2.3д
r_a	r_1^6	r_1^6	r_1^6
r_b	—	r_2	r_2
r_c	—	—	r_3

Формулы для определения коэффициентов m и n для рамного шпангоута и рамной стойки продольной переборки представлены в табл. 6.5.2-1 при $k_y=1$ и $k_y=2$. Соотнесение фигурирующего там обезличенного обозначения узловой реакции r_a с узловыми реакциями, которые следует использовать в расчете, указано в табл. 3.3.13-2.

Таблица 3.3.13-2

Соотнесение обозначений узловых реакций в табл. 6.5.2-1 с обозначениями узловых реакций для рамного шпангоута и рамной стойки

Обозначения r_j в табл. 6.5.2-1	Связь	
	рамный шпангоут	рамная стойка
r_a	$r_1^6 - r_1^0$	$r_1^{II} + r_1^0$

Формулы для определения коэффициентов m и n для горизонтальной рамы продольной переборки представлены в табл. 3.3.13-3. Для m_m при $k_x=3$ и $k_x=5$ здесь приведены по две формулы, объединенные фигурной скобкой, и по обеим нужно выполнить вычисление.

Таблица 3.3.13-3

Формулы для коэффициентов m и n горизонтальной рамы

Коэффициент	k_x		
	1	3	5
n	$\frac{1}{2} r_1^n$	$\left -\frac{1}{2} r_1^n + r_2 \right $	$\left -\frac{1}{2} r_1^n + r_2 + r_3 \right $
$\frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{8} r_1^n$	$\left \frac{1}{8} \left(-r_1^n + \frac{3}{2} r_2 \right) \right $	$\left \frac{1}{36} \left(-\frac{9}{2} r_1^n + 8r_2 + 5r_3 \right) \right $
$\frac{1}{m_m}$	$\frac{1}{8} r_1^n$	$\left\{ \left \frac{1}{4} \left(-r_1^n + r_2 \right) - \frac{1}{m_0} \right \right.$ $\left. \left \frac{1}{8} \left(-r_1^n + 2r_2 \right) - \frac{1}{m_0} \right \right\}$	$\left\{ \left \frac{1}{12} \left(-3r_1^n + 4r_2 + 3r_3 \right) - \frac{1}{m_0} \right \right.$ $\left. \left \frac{1}{6} \left(-r_1^n + 2r_2 + r_3 \right) - \frac{1}{m_0} \right \right\}$

Для каждой балки перекрытий из всех вычисленных для нее значений коэффициента момента m для дальнейшего расчета следует принимать наименьшее по абсолютной величине значение; для бортовых стрингеров и горизонтальных рам продольных переборок m_0 из их числа исключается.

3.3.14 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления бортового стрингера без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_c = \frac{Q_c L_1}{m_c k_\sigma \sigma_n}; \quad (3.3.14-1)$$

$$W'_c = \alpha_6 W'_{ш}; \quad (3.3.14-2)$$

$$W'_c = \alpha_c W'_{гр}; \quad (3.3.14-3)$$

$$W'_c = \alpha_c \alpha_{п} W'_{ст} \quad (3.3.14-4)$$

в зависимости от того, что больше,

где $W'_{ш}$ — по формулам (3.3.14-5) — (3.3.14-8);

$W'_{гр}$ — по формулам (3.3.14-9) — (3.3.14-12);

$W'_{ст}$ — по формулам (3.3.14-13) — (3.3.14-16).

Требуемый момент сопротивления рамного шпангоута без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\text{ш}} = \frac{Q_c l_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}} k_{\sigma} \sigma_n} ; \quad (3.3.14-5)$$

$$W'_{\text{ш}} = \frac{W'_c}{\alpha_6} ; \quad (3.3.14-6)$$

$$W'_{\text{ш}} = \frac{\alpha_c}{\alpha_6} W'_{\text{гр}} ; \quad (3.3.14-7)$$

$$W'_{\text{ш}} = \alpha_{\text{ш}} W'_{\text{ст}} \quad (3.3.14-8)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_c — по формулам (3.3.14-1) — (3.3.14-4);

$W'_{\text{гр}}$ — по формулам (3.3.14-9) — (3.3.14-12);

$W'_{\text{ст}}$ — по формулам (3.3.14-13) — (3.3.14-16).

Требуемый момент сопротивления горизонтальной рамы продольной переборки без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\text{гр}} = \frac{Q_c L_1}{m_{\text{гр}} k_{\sigma} \sigma_n} ; \quad (3.3.14-9)$$

$$W'_{\text{гр}} = \frac{W'_c}{\alpha_c} ; \quad (3.3.14-10)$$

$$W'_{\text{гр}} = \frac{\alpha_6}{\alpha_c} W'_{\text{ш}} ; \quad (3.3.14-11)$$

$$W'_{\text{гр}} = \alpha_{\text{п}} W'_{\text{ст}} \quad (3.3.14-12)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_c — по формулам (3.3.14-1) — (3.3.14-4);

$W'_{\text{ш}}$ — по формулам (3.3.14-5) — (3.3.14-8);

$W'_{\text{ст}}$ — по формулам (3.3.14-13) — (3.3.14-16).

Требуемый момент сопротивления рамной стойки продольной переборки без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\text{ст}} = \frac{Q_c l_{\text{ш}}}{m_{\text{ст}} k_{\sigma} \sigma_n} ; \quad (3.3.14-13)$$

$$W'_{\text{ст}} = \frac{W'_c}{\alpha_c \alpha_{\Pi}} ; \quad (3.3.14-14)$$

$$W'_{\text{ст}} = \frac{W'_{\text{ш}}}{\alpha_{\text{ш}}} ; \quad (3.3.14-15)$$

$$W'_{\text{ст}} = \frac{W'_{\text{гр}}}{\alpha_{\Pi}} \quad (3.3.14-16)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_c — по формулам (3.3.14-1) — (3.3.14-4);

$W'_{\text{ш}}$ — по формулам (3.3.14-5) — (3.3.14-8);

$W'_{\text{гр}}$ — по формулам (3.3.14-9) — (3.3.14-12).

3.3.15 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытий без учета износа определяется по следующим формулам:
для бортового стрингера

$$f'_c = 0,7 \frac{n_c Q_c}{k_{\tau} \tau_n} ;$$

для рамного шпангоута

$$f'_c = \frac{n_{\text{ш}} Q_c}{k_{\tau} \tau_n} ;$$

для горизонтальной рамы продольной переборки

$$f'_c = 0,7 \frac{n_{\text{гр}} Q_c}{k_{\tau} \tau_n} ;$$

для рамной стойки продольной переборки

$$f'_c = \frac{n_{\text{ст}} Q_c}{k_{\tau} \tau_n} .$$

3.3.16 Числовой пример.

1 Исходные данные:

— длина перекрытия (расстояние между поперечными переборками согласно 3.1.5) $L_1 = 16,0$ м;

— ширина перекрытия (расчетная длина пролета рамного шпангоута согласно 3.1.5) $l_{\text{ш}} = 7,5$ м;

— число бортовых стрингеров $k_c = 2$;

— число распорок у бортового стрингера $k_x = 3$;

— число рамных шпангоутов $k_{\text{ш}} = 1$;

— расчетное расстояние между бортовыми стрингерами

$$a_c = \frac{l_{\text{ш}}}{k_c + 1} = \frac{7,5}{2 + 1} = 2,5 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно п. 2.5.3.1 Правил

$$p = 39,8 \text{ кПа};$$

— коэффициент допускаемых напряжений согласно п. 2.5.4.4, 2.5.4.5 и 2.7.3.1 Правил

для рамного шпангоута $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,65$;

для бортового стрингера (для нижнего стрингера $k_{\sigma} = 0,58$, для верхнего $k_{\sigma} = 0,55$; принято более жесткое ограничение) $k_{\sigma} = 0,55$; $k_{\tau} = 0,65$;

для рамной стойки продольной переборки $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,75$;

для горизонтальной рамы продольной переборки $k_{\sigma} = 0,63$; $k_{\tau} = 0,75$;

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$\sigma_n = 235$ МПа; $\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 235 = 134$ МПа;

— суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая бортовым стрингером, согласно 3.3.5,

$$Q_c = pa_c L_1 = 39,8 \cdot 2,5 \cdot 16,0 = 1590 \text{ кН.}$$

2 Безразмерные параметры. Согласно 3.3.6 и 3.3.7 зададим

$$i_c = i_{\text{ш}} = \frac{I_c}{I_{\text{гп}}} = \frac{I_{\text{ш}}}{I_{\text{ст}}} = 1,15;$$

$$\alpha_6 = \alpha_{\text{п}} = \frac{W'_c}{W'_{\text{ш}}} = \frac{W'_{\text{гп}}}{W'_{\text{ст}}} = 1;$$

$$\alpha_c = \alpha_{\text{ш}} = i_c^{3/4} = 1,15^{3/4} = 1,11;$$

$$\mu_6 = \alpha_6^{4/3} \left(\frac{l_{\text{ш}}}{L_1} \right)^3 = 1^{4/3} \left(\frac{7,5}{16,0} \right)^3 = 0,1030;$$

$$\mu_{\text{п}} = \alpha_{\text{п}}^{4/3} \left(\frac{l_{\text{ш}}}{L_1} \right)^3 = 1^{4/3} \left(\frac{7,5}{16,0} \right)^3 = 0,1030.$$

3 Схема перекрытия; граничные условия. Рассматриваемое перекрытие симметрично относительно осей x и y . Согласно 3.3.3 бортовые стрингеры считаются жестко заделанными на опорном контуре. Коэффициенты опорной пары $\kappa^x = 1$. Для бортового стрингера $k_x = 3$. Число узлов в пределах длины рамного шпангоута $k_y = 2$. Рамные шпангоуты упруго заделаны по концам с $\kappa^y = 0,4$.

4 Коэффициенты влияния рамного шпангоута от узловых реакций. Составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_y = 2$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \kappa^y B_{11}^y = 0,1852 - 0,4 \cdot 0,1481 = 0,1260.$$

5 Коэффициенты влияния для бортового стрингера от узловых реакций. Составляющие коэффициентов C_{ij} определяются по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2 для $k_x = 3$, а C_{ij} по формуле (6.2.2).

$$C_{11}^x = A_{11}^x - B_{11}^x = 0,1250 - 0,0938 = 0,0312;$$

$$C_{12}^x = A_{12}^x - B_{12}^x = 0,1719 - 0,1406 = 0,0313;$$

$$C_{21}^x = A_{21}^x - B_{21}^x = 0,0859 - 0,0703 = 0,0156;$$

$$C_{22}^x = A_{22}^x - B_{22}^x = 0,1250 - 0,1055 = 0,0195.$$

6 Коэффициенты влияния бортового стрингера от внешней нагрузки. Коэффициенты влияния стрингера от внешней нагрузки δ_i^x вычисляются по формуле (6.2.3). Поскольку стрингер загружен равномерно распределенной нагрузкой и симметричен относительно середины пролета, составляющие δ_i^x определяются по табл. 6.2.6-1 для $k_x = 3$.

$$\delta_1^x = \beta_1^x - \gamma_1^x = 0,0781 - 0,0625 = 0,0156;$$

$$\delta_2^x = \beta_2^x - \gamma_2^x = 0,0557 - 0,0469 = 0,0088.$$

7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Исходные данные соответствуют схеме 2.2д в табл. 3.3.8. Для нее коэффициенты системы уравнений a_{ji} определяются по формулам табл. 3.3.10-2. Значения коэффициентов a_{ji} приведены в табл. 3.3.16-1.

Т а б л и ц а 3.3.16-1

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1^{δ}	r_1^{Π}	r_1^{ρ}	r_2
1	0,0442	0	-0,1297	0,0313
2	0	0,0442	0,1297	-0,0313
3	-1	1,15	2,15	0
4	0,0156	-0,01794	0	0,0419

.8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 2.2д, у которого загружены балки, параллельные оси x , коэффициенты b_i определяются по табл. 3.3.11. Значения коэффициентов b_i приведены в табл. 3.3.16-2.

Таблица 3.3.16-2

Значения коэффициентов b_i

№ уравнения	1	2	3	4
b_i	0,0156	0	0	0,0088

.9 Решение системы уравнений.

Результаты решения системы уравнений:

$$r_1^{\delta} = 0,300; r_1^{\Pi} = 0,0529; r_1^{\Pi} = 0,1113; r_2 = 0,1208.$$

Проверка правильности решения системы уравнений, согласно требованиям 6.4.1, выполняется подстановкой в систему полученных значений r_j .

$$0,0442 \cdot 0,3 - 0,1297 \cdot 0,1113 + 0,0313 \cdot 0,1208 = 0,0156;$$

$$0,0442 \cdot 0,0529 + 0,1297 \cdot 0,1113 - 0,0313 \cdot 0,1208 = 0,000;$$

$$-1 \cdot 0,3 + 1,15 \cdot 0,0529 + 2,15 \cdot 0,1113 = 0,000;$$

$$0,0156 \cdot 0,3 - 0,01794 \cdot 0,0529 + 0,0419 \cdot 0,1208 = 0,0088.$$

Результаты совпадают с b_i с точностью до последней значащей цифры.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для бортового стрингера. Согласно 3.3.13 по формулам табл. 6.5.7 для бортовых стрингеров как балок, загруженных равномерно распределенной нагрузкой и симметричных относительно середины пролета, при $k_x = 3$ определим коэффициенты m и n . Соотнесение обезличенных узловых реакций должно быть выполнено с помощью табл. 3.3.13-1. В последней для схемы 2.2д

$$r_a = r_1^{\delta}; r_b = r_2.$$

$$\begin{aligned}
n_c &= \frac{1}{2} (1 - r_1^6 - 2r_2) = \frac{1}{2} (1 - 0,3 - 2 \cdot 0,1208) = 0,229; \\
\frac{1}{m_0} &= \left(\frac{1}{12} - \frac{r_1^6}{8} - \frac{3r_2}{16} \right) \cdot x = \left(\frac{1}{12} - \frac{0,3}{8} - \frac{3 \cdot 0,1208}{16} \right) \cdot 1 = 0,0232; \\
\frac{1}{m_c} &= \frac{1}{2} (n_c + r_2)^2 - \frac{1}{4} r_2 - \frac{1}{m_0} = \\
&= \frac{1}{2} (0,229 + 0,1208)^2 - \frac{1}{4} \cdot 0,1208 + 0,0232 = 0,00785.
\end{aligned}$$

Согласно 3.3.13 m_0 из рассмотрения исключается, и

$$m_c = 127.$$

11 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для горизонтальной рамы продольной переборки. Согласно 3.3.13 по формулам табл. 3.3.13-3 для горизонтальной рамы продольной переборки при $k_x = 3$

$$\begin{aligned}
n_{rp} &= \left| -\frac{1}{2} r_1^n + r_2 \right| = \left| -\frac{1}{2} \cdot 0,0529 + 0,1208 \right| = 0,0944; \\
\frac{1}{m_0} &= \left| \frac{1}{8} \left(-r_1^n + \frac{3}{2} r_2 \right) \right| = \left| \frac{1}{8} (0,0529 + \frac{3}{2} \cdot 0,1208) \right| = 0,01604; \\
\frac{1}{m_m} &= \left| \frac{1}{4} (-r_1^n + r_2) - \frac{1}{m_0} \right| = \left| \frac{1}{4} (-0,0529 + 0,1208) - 0,01604 \right| = 0,00755; \\
\frac{1}{m_m} &= \left| \frac{1}{8} (-r_1^n + 2r_2) - \frac{1}{m_0} \right| = \left| \frac{1}{8} (-0,0529 + 2 \cdot 0,1208) - 0,01604 \right| = 0,00094.
\end{aligned}$$

Согласно 3.3.13 m_0 из рассмотрения исключается, и из двух последних значений m выбираем наименьшее

$$m_{rp} = 132.$$

12 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для рамного шпангоута и рамной стойки продольной переборки. Согласно 3.3.13 воспользуемся формулами табл. 6.5.2-1 при $k_y = 2$, соотнеся фигурирующую в ней обезличенную реакцию r_a с обозначением реакций в табл. 3.3.13-2. Тогда для рамного шпангоута

$$r_a = r_1^6 - r_1^p = 0,3 - 0,1113 = 0,1889;$$

$$n_{ш} = r_a = 0,1889.$$

Коэффициент m_0 согласно требованиям 3.3.3 и 3.2.2 следует вычислять в трех вариантах:

по среднему значению $\kappa^y = 0,4$ для последующего определения коэффициента m_m

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_a \kappa^y = \frac{2}{9} 0,1889 \cdot 0,4 = 0,01679,$$

а также по $\kappa^y = 0,5$ и $\kappa^y = 0,3$ для прямых оценок изгибающего момента в опорных сечениях

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_a \kappa_0^y = \frac{2}{9} 0,1889 \cdot 0,5 = 0,0210;$$

$$\frac{1}{m_l} = \frac{2}{9} r_a \kappa_l^y = \frac{2}{9} 0,1889 \cdot 0,3 = 0,0126;$$

Кроме того,

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{3} r_a - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{3} 0,1889 - 0,01679 = 0,0462.$$

Из трех последних значений m выбирается наименьшее

$$m_{\text{ш}} = 21,7.$$

Аналогично для рамной стойки продольной переборки:

$$r_a = r_1^{\text{II}} + r_1^{\text{P}} = -0,0529 + 0,1113 = 0,1643;$$

$$n_{\text{ст}} = r_a = 0,1643;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_a \kappa^y = \frac{2}{9} 0,1643 \cdot 0,4 = 0,0146;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_a \kappa_0^y = \frac{2}{9} 0,1643 \cdot 0,5 = 0,0183;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{2}{9} r_a \kappa_l^y = \frac{2}{9} 0,1643 \cdot 0,3 = 0,0110;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{3} r_a - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{3} 0,1643 - 0,0146 = 0,0402.$$

Из трех последних значений m выбирается наименьшее

$$m_{\text{ст}} = 24,9.$$

1.13 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 3.3.14:

если предположить, что опасное сечение располагается в бортовом стрингере,

$$W'_c = \frac{Q_c L_1}{m_c k_\sigma \sigma_n} = \frac{1590 \cdot 16,0}{127 \cdot 0,55 \cdot 235} 10^3 = 1,55 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ш} = \frac{W'_c}{\alpha_6} = \frac{1,55 \cdot 10^3}{1} = 1,55 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{гр} = \frac{W'_c}{\alpha_c} = \frac{1,55 \cdot 10^3}{1,11} = 1,39 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ст} = \frac{W'_c}{\alpha_c \alpha_{п}} = \frac{1,55 \cdot 10^3}{1,11 \cdot 1} = 1,39 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в горизонтальной раме продольной переборки,

$$W'_{гр} = \frac{Q_c L_1}{m_{гр} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{1590 \cdot 16,0}{132 \cdot 0,63 \cdot 235} 10^3 = 1,30 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \alpha_c W'_{гр} = 1,11 \cdot 1,30 \cdot 10^3 = 1,44 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ш} = \alpha_c \frac{W'_{гр}}{\alpha_6} = 1,11 \frac{1,30 \cdot 10^3}{1,0} = 1,44 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ст} = \frac{W'_{гр}}{\alpha_{п}} = \frac{1,30 \cdot 10^3}{1,0} = 1,30 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в рамном шпангоуте,

$$W'_{ш} = \frac{Q_c l_{ш}}{m_{ш} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{1590 \cdot 7,5}{21,7 \cdot 0,65 \cdot 235} 10^3 = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \alpha_6 W'_{ш} = 1 \cdot 3,61 \cdot 10^3 = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{гр} = \frac{\alpha_6 W'_{ш}}{\alpha_c} = \frac{1 \cdot 3,61 \cdot 10^3}{1,11} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ст} = \frac{W'_{ш}}{\alpha_{ш}} = \frac{3,61 \cdot 10^3}{1,11} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в рамной стойке продольной переборки,

$$W'_{ст} = \frac{Q_c l_{ш}}{m_{ст} k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{1590 \cdot 7,5}{24,9 \cdot 0,75 \cdot 235} 10^3 = 2,72 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \alpha_c \alpha_{п} W'_{ш} = 1,11 \cdot 1 \cdot 2,72 \cdot 10^3 = 3,02 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{ш} = \alpha_{ш} W'_{ст} = 1,11 \cdot 2,72 \cdot 10^3 = 3,02 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{гр} = \alpha_{п} W'_{ст} = 1 \cdot 2,72 \cdot 10^3 = 2,72 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в рамном шпангоуте. Поэтому окончательно

$$W'_c = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{ш} = 3,61 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{гп} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_{ст} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.14 *Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 3.3.15:*

для бортового стрингера

$$f'_c = 0,7 \frac{n_c Q_c}{k_\tau \tau_n} = 0,7 \frac{0,229 \cdot 1590}{0,65 \cdot 134} 10 = 29,3 \text{ см}^2;$$

для горизонтальной рамы продольной переборки

$$f'_c = 0,7 \frac{n_{гп} Q_c}{k_\tau \tau_n} = 0,7 \frac{0,0944 \cdot 1590}{0,75 \cdot 134} 10 = 10,5 \text{ см}^2;$$

для рамного шпангоута

$$f'_c = \frac{n_{ш} Q_c}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,1889 \cdot 1590}{0,65 \cdot 134} 10 = 34,5 \text{ см}^2;$$

для рамной стойки продольной переборки

$$f'_c = \frac{n_{ст} Q_c}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,1643 \cdot 1590}{0,75 \cdot 134} 10 = 26,0 \text{ см}^2.$$

4 ПАЛУБНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

4.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

4.1.1 Указания настоящего раздела относятся к расчету прочности регулярных палубных перекрытий и палубных перекрытий с большими люковыми вырезами, согласно п. 2.6.4.4 Правил.

4.1.2 Внешняя нагрузка на перекрытие считается равномерно распределенной и воспринимается карлингсами при поперечной системе набора или рамными бимсами при продольной системе набора, если не оговорено иное.

4.1.3 Интенсивность расчетной нагрузки на палубное перекрытие определяется согласно п.2.6.3 Правил.

При определении размеров связей перекрытия коэффициенты допускаемых напряжений должны выбираться в соответствии с требованиями п.2.6.4.4 Правил.

4.1.4 Палубное перекрытие считается составленным из взаимно пересекающегося рамного подпалубного набора — рамных бимсов и карлингсов, а также при наличии больших люковых вырезов — продольных карлингсов-комингсов и концевых люковых бимсов. Принимаются в расчет пиллерсы, которые могут рассматриваться как жесткие опоры рамных подпалубных балок.

4.1.5 В качестве расчетной длины перекрытия принимается длина трюма (танка) — расстояние между поперечными переборками, включая кницы. Расчетная ширина перекрытия, измеряемая посередине длины перекрытия на уровне палубы, определяется как

ширина судна, на судах без продольных переборок и двойных бортов;

расстояние между внутренними обшивками двойных бортов на судах с двойными бортами;

ширина танка на наливных судах;

расстояние от борта до продольной переборки или между продольными переборками.

4.1.6 В расчетах перекрытий ось x считается направленной по длине судна, ось y — по ширине судна.

4.2 РЕГУЛЯРНЫЕ ПАЛУБНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

4.2.1 В данной главе рассматриваются регулярные палубные перекрытия судов всех типов, за исключением наливных судов при продольной системе набора. Принимается во внимание, что карлингс, расположенный в диаметральной плоскости, может быть усилен по сравнению с другими карлингсами.

На палубные перекрытия наливных судов при продольной системе набора полностью распространяются указания гл.2.2 для перекрытий в центральных танках, гл. 2.3 для перекрытий в бортовых танках, при соответствующей замене терминов:

флор — рамный бимс,

днищевой стрингер — карлингс,

вертикальный киль — отбойный лист,

и ссылок вместо гл. 2.1 — на гл. 4.1.

4.2.2 Для выделения величин, относящихся к рамным балкам перекрытия, используются следующие индексы:

б — для рамного бимса,

к — для карлингса,

о — для усиленного карлингса, расположенного в диаметральной плоскости.

4.2.3 Карлингсы считаются жестко заделанными на поперечных переборках; соответственно коэффициент опорной пары

$$\kappa^x = 1.$$

Рамные бимсы считаются упруго заделанными на бортах с коэффициентом опорной пары

$$\kappa^y = 0,3$$

и жестко заделанными на продольных переборках, соответственно

$$\kappa^y = 1.$$

4.2.4 Суммарная внешняя нагрузка, согласно формуле (6.3.2-1), воспринимаемая

при поперечной системе набора карлингсами,

$$Q_k = p a_k L_1,$$

при продольной системе набора рамными бимсами,

$$Q_b = p a_b B_1,$$

где p — расчетная нагрузка согласно 4.1.3;

a_k — расстояние между карлингсами;

a_b — расстояние между рамными бимсами.

4.2.5 Согласно 1.5.2 задаются соотношения моментов инерции

$$\frac{I_b}{I_k}, \frac{I_o}{I_o},$$

с использованием которых по формулам (1.4.3-4) и (6.3.4) вычисляются параметры относительной жесткости балок перекрытия

$$\mu = \frac{I_b}{I_k} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3;$$

$$\mu_o = \frac{I_b}{I_o} \left(\frac{L_1}{B_1} \right)^3.$$

4.2.6 Если используются приближенные соотношения (1.4.3-6), заданное в 4.2.5 позволяет определить соотношения требуемых значений моментов сопротивления сечений балок перекрытия без учета надбавок на износ:

$$\alpha = \frac{W'_6}{W'_k} = \left(\frac{I_6}{I_k} \right)^{3/4};$$

$$\alpha_0 = \frac{W'_6}{W'_0} = \left(\frac{I_6}{I_0} \right)^{3/4}.$$

4.2.7 Согласно 4.1.2 и 4.2.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам перекрытий, соответствующих симметричному случаю, если число рамных бимсов $k_6 \leq 5$, и материалы гл. 6.6 также применительно к симметричному случаю при $k_6 > 5$.

4.2.8 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения рамного бимса без учета надбавок на износ определяется по следующей формулам:

$$W'_6 = \frac{Q_k B_1}{m_6 k_\sigma \sigma_n} \text{ при поперечной системе набора,} \quad (4.2.8-1)$$

$$W'_6 = \frac{Q_6 B_1}{m_6 k_\sigma \sigma_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

$$W'_6 = \alpha W'_k; \quad (4.2.8-2)$$

$$W'_6 = \alpha_0 W'_0 \quad (4.2.8-3)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_k — по формулам (4.2.8-4) — (4.2.8-6);

W'_0 — по формулам (4.2.8-7) — (4.2.8-9).

Требуемый момент сопротивления сечения карлингса без учета надбавок на износ определяется по следующим формулам:

$$W'_k = \frac{Q_k B_1}{m_k k_\sigma \sigma_n} \text{ при поперечной системе набора,} \quad (4.2.8-4)$$

$$W'_k = \frac{Q_6 B_1}{m_k k_\sigma \sigma_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

$$W'_k = \frac{W'_6}{\alpha}; \quad (4.2.8-5)$$

$$W'_к = \frac{\alpha W'_о}{\alpha_0} \quad (4.2.8-6)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_6 — по формулам (4.2.8-1) — (4.2.8-3);

$W'_о$ — по формулам (4.2.8-7) — (4.2.8-9).

Требуемый момент сопротивления сечения усиленного карлингса, расположенного в диаметральной плоскости, без учета надбавок на износ определяется по следующим формулам:

$$W'_о = \frac{Q_к L_1}{m_о k_σ σ_n} \text{ при поперечной системе набора;} \quad (4.2.8-7)$$

$$W'_о = \frac{Q_6 L_1}{m_о k_σ σ_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

$$W'_о = \frac{W'_6}{\alpha_0} \quad (4.2.8-8)$$

$$W'_о = \frac{\alpha_0 W'_о}{\alpha} \quad (4.2.8-9)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_6 — по формулам (4.2.8-1) — (4.2.8-3);

$W'_к$ — по формулам (4.2.8-4) — (4.2.8-6).

Здесь коэффициенты m_6 , $m_к$, $m_о$ определяются согласно 4.2.7; коэффициент $k_σ$ — согласно 4.1.3; коэффициенты α и α_0 — согласно 4.2.5 или 4.2.6; суммарная нагрузка $Q_к$ или Q_6 — по 4.2.4.

4.2.9 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам:

для рамного бимса

$$f'_с = \frac{n_6 Q_к}{k_τ τ_n} \text{ при поперечной системе набора;}$$

$$f'_с = \frac{n_6 Q_6}{k_τ τ_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

для карлингса

$$f'_с = \frac{n_к Q_к}{k_τ τ_n} \text{ при поперечной системе набора;}$$

$$f'_с = \frac{n_к Q_6}{k_τ τ_n} \text{ при продольной системе набора;}$$

для усиленного карлингса, расположенного в диаметральной плоскости,

$$f'_c = \frac{n_o Q_k}{k_\tau \tau_n} \text{ при поперечной системе набора;}$$

$$f'_c = \frac{n_o Q_b}{k_\tau \tau_n} \text{ при продольной системе набора,}$$

где коэффициенты n_b , n_k , n_o определяются согласно 4.2.7; коэффициент k_τ — согласно 4.1.3; суммарная нагрузка Q_k или Q_b — по 4.2.4.

4.2.10 Порядок расчета регулярных палубных перекрытий совпадает с порядком расчета регулярных днищевых и бортовых перекрытий, проиллюстрированным числовыми примерами в 2.2.10, 2.4.9, 3.2.9 и 3.3.16.

4.3 ПАЛУБНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ С БОЛЬШИМИ ЛЮКОВЫМИ ВЫРЕЗАМИ

4.3.1 В данной главе рассматриваются палубные перекрытия с большими люковыми вырезами для двух случаев расположения пиллерсов:

— в узлах пересечения продольных карлингсов-комингсов и концевых люковых бимсов (в узле люка);

— под концевыми люковыми бимсами в диаметральной плоскости.

Рассматриваются следующие варианты:

— продольная система набора;

— поперечная система набора;

— смешанная система набора, когда участки палубы вне линии люковых вырезов набраны по продольной системе, а межлюковые участки палубы набраны по поперечной системе.

Кроме того, рассмотрены варианты, когда между концевым люковым бимсом и поперечной переборкой установлен дополнительный рамный бимс.

В расчетах учитывается, что продольные карлингсы-комингсы и концевые люковые бимсы в пределах люкового выреза и вне его имеют разные сечения.

4.3.2 В дополнение к обозначениям и индексам по 1.4.2 вводится следующее:

подстрочный индекс в виде двух цифр при l , I и Q — номера узлов по концам участка балки, для которого соответственно задаются длина, момент инерции сечения и суммарная внешняя нагрузка;

подстрочный индекс в виде одной цифры при M — номер узлового

сечения (узла), в котором вычисляется изгибающий момент в балке; направление оси этой балки указывается в надстрочном индексе при M ; подстрочный индекс «д» при I и Q означает принадлежность этих величин дополнительному рамному бимсу.

Кроме того, разъяснение обозначений см. в 4.3.6 — 4.3.8, 4.3.10 — 4.3.14, 4.3.16 и 4.3.17.

4.3.3 Указания 4.2.3 к условиям закрепления концов балок применяются в полном объеме.

4.3.4 В дополнение к исходным предпосылкам и допущениям гл.1.3 принимаются следующие:

Пиллерсы для балок перекрытия являются жесткими несмещаемыми опорами и передают на них только сосредоточенные усилия, перпендикулярные плоскости перекрытия.

Внешняя нагрузка в пределах любой балки, которая воспринимает эту нагрузку, или участка балки между узлами перекрытия считается равномерно распределенной.

Вся внешняя нагрузка, воспринимаемая крышкой люка, передается на участки продольных карлингсов-комингсов, расположенных в пределах люка.

Контуры люка очерчены осевыми линиями продольных карлингсов-комингсов и концевых люковых бимсов.

Дополнительный рамный бимс делит пополам расстояние между концевым люковым бимсом и поперечной переборкой.

4.3.5 Схемы рассматриваемых перекрытий представлены в табл. 4.3.5. Перекрытия имеют две оси симметрии. На схемах указаны номера узлов. В их число включены:

- узлы пересечения балок разного направления;
- концевые сечения балок перекрытия на его опорном контуре;
- сечения посередине пролета концевого люкового бимса (в диаметральной плоскости) — узел 4, где может устанавливаться пиллерс.

Каждой схеме перекрытия присвоен собственный индекс, который используется в Методике для ссылок. Индекс указан в таблице и состоит из целого числа и буквы:

число 0 или 1 означает отсутствие или наличие дополнительного рамного бимса между концевым люковым бимсом и поперечной переборкой;

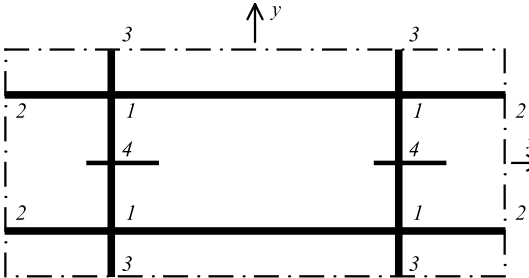
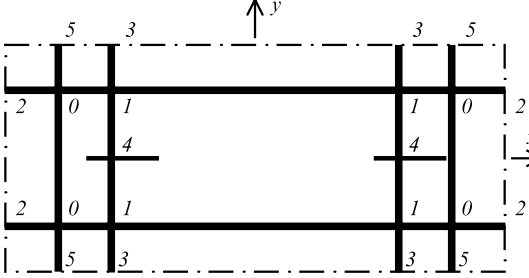
буква «у» или «с» означает, что пиллерсы установлены в узлах 1 (в углах люка) или в узлах 4 (посередине концевого люкового бимса).

Величины ω и a_{ji} разъяснены в 4.3.8 и 4.3.10.

4.3.6 Согласно 1.5.2 задаются следующие соотношения моментов

Таблица 4.3.5

Схемы нумерации узлов палубных перекрытий с большими люковыми вырезами

Схема	Индекс	ω	a_{ji} № табл.
	0y	3/4	4.3.11-1
	0с	5/6	4.3.11-3
	1y	4/5	4.3.11-2
	1с	6/7	4.3.11-4

инерции сечений балок перекрытия и их участков:

$$i_k = \frac{I_{11}^x}{I_{12}}; i_6 = \frac{I_{11}^y}{I_{13}}; i_o = \frac{I_{12}}{I_{13}}; i_d = \frac{I_d}{I_{13}}.$$

Надстрочные индексы x или y при I_{11} означают принадлежность этой величины к продольному карлингсу-комингсу или концевому люковому бимсу соответственно.

4.3.7 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 4.3.6 позволяет определить соотношение требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытия и их участков без учета надбавок на износ:

$$\alpha_k = \frac{W'_{11}^x}{W'_{12}} = i_k^{3/4}; \quad \alpha_6 = \frac{W'_{11}^y}{W'_{13}} = i_6^{3/4};$$

$$\alpha_o = \frac{W'_{12}}{W'_{13}} = i_o^{3/4}; \quad \alpha_d = \frac{W'_d}{W'_{13}} = i_d^{3/4}.$$

4.3.8 Для раскрытия статической неопределимости перекрытия —

составной части расчета его прочности необходимо составить и решить следующую систему линейных уравнений:

$$a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + \dots + a_{ji}X_j + \dots + a_{\omega i}X_{\omega} = b_i$$

$$i = 1, 2, \dots, \omega; j = 1, 2, \dots, \omega,$$

где X_j — обобщенное обозначение искомым неизвестных, конкретное содержание которых разъяснено в 4.3.11;

a_{ji} — коэффициенты при неизвестных системы уравнений, определяемых согласно 4.3.11;

b_i — коэффициенты — свободные члены системы уравнений, определяемые согласно 4.3.12;

ω — число неизвестных X_j , соответствующее числу уравнений в системе.

4.3.9 Метод решения системы уравнений по 4.3.8 не регламентируется и в материалы расчета, представляемые на согласование Регистру, может не включаться. Обязательна, однако, проверка правильности определения неизвестных подстановкой их в уравнения по 4.3.8.

4.3.10 Уравнения по 4.3.8 составляются и решаются в двух вариантах:

вариант 1 — концевые люковые бимсы свободно оперты на контуре перекрытия; вычисленные значения неизвестных X_j для этого варианта помечаются дополнительным подстрочным индексом (с);

вариант 2 — концевые люковые бимсы жестко заделаны на контуре перекрытия; вычисленные значения неизвестных X_j для этого варианта помечаются дополнительным подстрочным индексом (ж).

Значения неизвестных, отвечающих упругой заделке концевых люковых бимсов на контуре перекрытия согласно 4.2.3 и 4.3.3, которые используются в последующем расчете, должны определяться по следующей формуле:

$$X_j = 0,7X_{j(c)} + 0,3X_{j(ж)}.$$

Указания, касающиеся составления системы уравнений по 4.3.8 для обоих вариантов, содержатся в 4.3.11 и 4.3.12.

Число неизвестных ω , приведенное в табл. 4.3.5 для рассматриваемых схем перекрытий, представлено в виде дроби: числитель соответствует варианту 1, знаменатель — варианту 2.

4.3.11 Формулы для определения коэффициентов a_{ji} при неизвестных системы уравнений по 4.3.8 представлены в табл. 4.3.11-1 — 4.3.11-4. В названии таблиц указаны индексы схем перекрытий согласно 4.3.5, к

которым они относятся. В головке таблиц приведены конкретные обозначения неизвестных X_j по 4.3.8, которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной колонке. В первой колонке таблицы приведены номера уравнений, которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной строке.

Помимо обозначений, разъясненных в 1.4.2, 4.3.2 и 4.3.6, в таблицах

Таблица 4.3.11-1

Коэффициенты a_{ji} для схемы перекрытия 0у

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	M_3^x
1	$\frac{i_k l_{12}}{3} + \frac{l_{11}}{2}$	$\frac{i_k l_{12}}{6}$	0	0
2	0	0	$\frac{i_6 l_{13}}{3} + \frac{b}{2}$	$\frac{i_6 l_{13}}{6}$
3	$\frac{l_{12}}{6}$	$\frac{l_{12}}{3}$	0	0
4	0	0	$\frac{l_{13}}{6}$	$\frac{l_{13}}{3}$

Таблица 4.3.11-2

Коэффициенты a_{ji} для схемы перекрытия 1у

№ уравнения	Обозначение неизвестных				
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	R_0	M
1	$\frac{i_k l_{12}}{3} + \frac{l_{11}}{2}$	$\frac{i_k l_{12}}{6}$	0	$\frac{i_k l_{12}^2}{16}$	0
2	0	0	$\frac{i_6 l_{13}}{3} + \frac{b}{2}$	0	$\frac{i_6 l_{13}}{6}$
3	$\frac{l_{12}}{6}$	$\frac{l_{12}}{3}$	0	$\frac{l_{12}^2}{16}$	0
4	$\frac{3l_{12}^2}{8}$	$\frac{3l_{12}^2}{8}$	0	$\frac{l_{12}^3}{8} + \frac{i_0}{i_n} C_{00} B_1^3$	0
5	0	0	$\frac{l_{13}}{6}$	0	$\frac{l_{13}}{3}$

Таблица 4.3.11-3

Коэффициенты a_{ji} для схемы перекрытия 0с

№ уравнения	Обозначение неизвестных					
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	M_4^y	F	M_3^y
1	$-\frac{1}{l_{12}}$	$\frac{1}{l_{12}}$	$-\left(\frac{1}{l_{13}} + \frac{2}{b}\right)$	$\frac{2}{b}$	0	$\frac{1}{l_{13}}$
2	$\frac{i_k l_{12}}{3} + \frac{l_{11}}{2}$	$\frac{i_k l_{12}}{6}$	0	0	$\frac{i_k}{l_{12}}$	0
3	0	0	$\frac{i_6 l_{13}}{3} + \frac{b}{6}$	$\frac{b}{12}$	$\frac{i_6}{i_o} \left(\frac{1}{l_{13}} + \frac{2}{b}\right)$	$\frac{i_6 l_{13}}{6}$
4	0	0	$\frac{b}{12}$	$\frac{b}{6}$	$-\frac{i_6}{i_o} \frac{2}{b}$	0
5	$\frac{l_{12}}{6}$	$\frac{l_{12}}{3}$	0	0	$-\frac{1}{l_{12}}$	0
6	0	0	$\frac{l_{13}}{6}$	0	$-\frac{1}{i_o l_{13}}$	$\frac{l_{13}}{3}$

Таблица 4.3.11-4

Коэффициенты a_{ji} для схемы перекрытия 1с

№ уравнения	Обозначение неизвестных						
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	M_4^y	F	R_0	M_3^y
1	$-\frac{1}{l_{12}}$	$\frac{1}{l_{12}}$	$-\left(\frac{1}{l_{13}} + \frac{2}{b}\right)$	$\frac{2}{b}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{l_{13}}$
2	$\frac{i_k l_{12}}{3} + \frac{l_{11}}{2}$	$\frac{i_k l_{12}}{6}$	0	0	$\frac{i_k}{l_{12}}$	$\frac{i_k l_{12}^2}{16}$	0
3	0	0	$\frac{i_6 l_{13}}{3} + \frac{b}{6}$	$\frac{b}{12}$	$\frac{i_6}{i_o} \left(\frac{1}{l_{13}} + \frac{2}{b}\right)$	0	$i_6 \frac{l_{13}}{6}$
4	0	0	$\frac{b}{12}$	$\frac{b}{6}$	$-\frac{i_6}{i_o} \frac{2}{b}$	0	0
5	$\frac{l_{12}}{6}$	$\frac{l_{12}}{3}$	0	0	$-\frac{1}{l_{12}}$	$\frac{l_{12}^2}{16}$	0
6	$\frac{3}{8} l_{12}^2$	$\frac{3}{8} l_{12}^2$	0	0	-3	$\frac{i_0}{i_d} C_{00} B_1^3 + \frac{l_{12}^3}{8}$	0
7	0	0	$\frac{l_{13}}{6}$	0	$-\frac{1}{i_o l_{13}}$	0	$\frac{l_{13}}{3}$

дополнительно использованы следующие обозначения:

l_{11} — длина участка продольного карлингса-комингса между узлами 1 (длина люка);

b — длина участка концевой люкового бимса между узлами 1

(ширина люка);

C_{00} — коэффициент влияния дополнительного рамного бимса в узле 0 от узловой реакции R_0 , определяемый согласно 4.3.13;

F — неизвестные, пропорциональные прогибу в узле 1

$$F = EI_{12}w_1.$$

Коэффициенты a_{ji} в таблицах соответствуют варианту 2 по 4.3.10, когда концевой люковый бимс жестко заделан на опорном контуре перекрытия. Коэффициенты a_{ji} для варианта 1 по 4.3.10, когда концевой люковый бимс свободно оперт на контуре перекрытия, определяются из тех же таблиц, если вычеркнуть из них последнюю строку и последний столбец. (В таблицах они отделены жирными линиями).

4.3.12 Формулы для определения коэффициентов b_i — свободных членов системы уравнений по 4.3.8 представлены в табл. 4.3.12. В головке таблицы указаны индексы схем перекрытий согласно 4.3.5, применительно к которым должны быть использованы формулы в данной колонке при составлении системы уравнений по 4.3.8. В первой колонке указаны номера уравнений, которым принадлежат данные формулы b_i .

Дополнительно в таблицу введено обозначение δ_0 — коэффициент

Таблица 4.3.12

Коэффициенты b_i

№ урав- нения	Индекс схемы			
	0y	1y	0с	1с
1	$\frac{1}{24} (i_k I_{12}^2 Q_{12} + I_{11}^2 Q_{11}^x)$	$\frac{5}{64} I_{12}^3 Q_{12} - \frac{i_0}{i_d} \delta_0 B_1^3 Q_d$	$\frac{1}{2} (Q_{12} + Q_{13} + Q_{11}^x + \frac{1}{2} Q_{11}^y)$	$\frac{1}{192} b^2 Q_{11}^y$
2	$\frac{1}{24} (i_6 I_{13}^2 Q_{13} + \frac{b^2}{8} Q_{11}^y)$		$\frac{1}{24} (i_k I_{12}^2 Q_{12} + I_{11}^2 Q_{11}^x)$	
3	$\frac{1}{24} I_{12}^2 Q_{12}$		$\frac{1}{24} (i_6 I_{13}^2 Q_{13} + \frac{b^2}{8} Q_{11}^y)$	
4	$\frac{1}{24} I_{13}^2 Q_{13}$	$\frac{1}{24} I_{13}^2 Q_{13}$	$\frac{1}{192} b^2 Q_{11}^y$	$\frac{5}{64} I_{12}^3 Q_{12} - \frac{i_0}{i_d} \delta_0 B_1^3 Q_d$
5	—		$\frac{1}{24} I_{12}^2 Q_{12}$	
6	—	—	$\frac{1}{24} I_{13}^2 Q_{13}$	$\frac{1}{24} I_{13}^2 Q_{13}$
7	—	—	—	

влияния дополнительного рамного бимса в узле 0 от внешней нагрузки, определяемый согласно 4.3.13.

Суммарные внешние нагрузки Q на балки перекрытия и их участки, фигурирующие в формулах таблицы определяются согласно 4.3.14.

Коэффициенты b_i в таблице соответствуют варианту 2 по 4.3.10, когда концевой люковый бимс жестко заделан на опорном контуре перекрытия. Коэффициенты b_i для варианта 1 по 4.3.10, когда концевой люковый бимс свободно оперт на контуре перекрытия, определяются из той же таблицы, если в каждой ее колонке вычеркнуть последнюю заполненную строку. (Она отделена от остальных жирной линией).

4.3.13 Коэффициент влияния дополнительного рамного бимса в узле 0 от узловой реакции R_0 определяется по следующей формуле:

$$C_{00} = A_{00} - B_{00},$$

где A_{00} и B_{00} определяются по формулам табл. 4.3.13.

Коэффициент влияния дополнительного рамного бимса в узле 0 от внешней нагрузки определяется по следующей формуле:

$$\delta_0 = \beta_0 - \gamma_0,$$

где β_0 и γ_0 определяются по формулам табл. 4.3.13 в зависимости от системы набора палубы и условий опирания;

$$\lambda_{13} = \frac{l_{13}}{B_1}.$$

Таблица 4.3.13

Составляющие коэффициентов влияния

Обозначение	Система набора	Условия опирания	Значение
A_{00}	—	—	$\lambda_{13}^2(3 - 4\lambda_{13})$
B_{00}	—	Свободная опора	0
		Жесткая заделка	$3\lambda_{13}^2(1 - \lambda_{13})^2$
β_0	Поперечная	—	0
	Продольная	—	$\frac{1}{4} \lambda_{13}(1 - 2\lambda_{13}^2 + \lambda_{13}^3)$
	Смешанная	—	$\frac{1}{8} \lambda_{13}^2(6 - 7\lambda_{13})$
γ_0	Поперечная	—	0
		Свободная опора	0
	Продольная	Жесткая заделка	$\frac{1}{4} \lambda_{13}(1 - \lambda_{13})$
	Смешанная	Свободная опора	0
		Жесткая заделка	$\frac{1}{4} \lambda_{13}^2(1 - \lambda_{13})(3 - 2\lambda_{13})$

4.3.14 Суммарные нагрузки на балки перекрытия и их участки определяются по формулам табл. 4.3.14 в зависимости от схемы перекрытия и системы набора палубы.

Дополнительное обозначение в таблице:

a_6 — расстояние между рамными полубимсами.

Таблица 4.3.14

Суммарные нагрузки на участки балок

Нагрузка	Индекс схемы	Система набора		
		поперечная	продольная	смешанная
Q_{11}^x	—	$\frac{1}{2} p l_{11}(b + l_{13})$	$\frac{1}{2} p l_{11}(b + l_{13})$	$\frac{1}{2} p l_{11}(b + l_{13})$
Q_{11}^x	0y; 0с	0	$\frac{1}{2} p b l_{12}$	0
	1y; 1с	0	$\frac{1}{4} p b l_{12}$	0
Q_{12}	—	$\frac{1}{2} p l_{12}(b + l_{13})$	0	$\frac{1}{2} p b l_{12}$
Q_{13}	0y; 0с	0	$\frac{1}{4} p l_{13}(a_6 + 2l_{12})$	$\frac{1}{4} p l_{13}(a_6 + 2l_{12})$
	1y; 1с	0	$\frac{1}{4} p l_{13}(a_6 + l_{12})$	$\frac{1}{4} p l_{13}(a_6 + l_{12})$
Q_d	0y; 0с	0	0	0
	1y; 1с	0	$\frac{1}{2} p B l_{12}$	$p l_{12} l_{13}$

4.3.15 Формулы для определения наибольших перерезывающих сил и изгибающих моментов балок перекрытия приведены в табл. 4.3.15-1 — 4.3.15-3. Фигурирующие в формулах изгибающие моменты в узловых и опорных сечениях балок M_1^x , M_2^x , M_1^y , M_3^y , M_4^y и узловая реакция R_0 определяются из решения системы уравнений по 4.3.8 согласно 4.3.9 и 4.3.10.

Суммарные внешние нагрузки Q , фигурирующие в таблицах, определяются согласно 4.3.14.

Для продольного карлингса-комингса и концевого люкового бимса формулы для наибольших значений перерезывающих сил и изгибающих моментов приведены по участкам. В этом случае под M_0 и M_l понимаются изгибающие моменты в концевых сечениях участка балки.

В табл. 4.3.15-1 для продольного карлингса-комингса на участке 12

Таблица 4.3.15-1

**Наибольшие перерезывающие силы и изгибающие моменты
в продольном карлингсе-комингсе**

Участок	Система набора	Индекс схемы	Обозначение неизвестных			
			N_{max}	M_0	M_l	M_{max}
11	—		Продольная	—	$\frac{1}{2} \frac{Q_{11}^x}{Q_{11}^y}$	$Q_{12} + \frac{1}{l_{12}} \times$ $\times (M_2^x - M_1^x) - \frac{1}{2} R_0$
12	Поперечная Смешанная			1y	$\frac{1}{2}$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} Q_{12} + \frac{1}{l_{12}} \times \\ \times (M_2^x - M_1^x) \\ \left \frac{1}{l_{12}} \times (M_2^x - M_1^x) - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} R_0 \right \end{array} \right.$
				1с		
				0y		$\left \frac{1}{l_{12}} \times (M_2^x - M_1^x) - \right.$ $\left. - \frac{1}{2} R_0 \right $
				0с		
				1y		
				1с		
				0y		
				0с		

для схем перекрытий 1y и 1с при поперечной и смешанной системах набора приведены три формулы для M_{max} , объединенные фигурной скобкой. Из трех значений M_{max} , вычисленных по этим формулам, для дальнейшего расчета выбирается наибольшее по абсолютному значению.

λ_{13} в табл. 4.3.15-3 определяется согласно 4.3.13.

Таблица 4.3.15-2

**Наибольшие перерезывающие силы и изгибающие моменты
в концевом люковом бимсе**

Участок	Система набора	Индекс схемы	Обозначение неизвестных			
			N_{max}	M_0	M_l	M_{max}
11			Продольная	0с	$\frac{Q_{11}^y}{4} + \frac{\Phi}{b}$	$(M_4^y - M_1^y)$
				1с		$\frac{1}{2} Q_{11}^y$
				0у		
			Поперечная Смешанная	0с		$\left \frac{2}{b} (M_4^y - M_1^y) \right $
				1с		0
				0у, 1у		
13			Продольная Смешанная			$\frac{Q_{13}}{2} + \frac{1}{l_{13}} (M_3^y - M_1^y)$
				—		$\left \frac{1}{l_{13}} (M_3^y - M_1^y) \right $
			Поперечная	—		

Таблица 4.3.15-3

**Наибольшие перерезывающие силы и изгибающие моменты
в дополнительном рамном бимсе**

Система набора	Обозначение неизвестных		
	N_{max}	M_0	M_{max}
Продольная	$\frac{1}{2} Q_d - R_0$	$\frac{Q_d B_1}{40} + (1 - \lambda_{13}) l_{13} R_0$	$\frac{Q_d B_1}{8} + R_0 l_{13} - M_0$
Смешанная	$\left \frac{1}{2} Q_d - R_0 \right $	$\left[\frac{1}{40} Q_d B_1 \lambda_{13} (3 - 2\lambda_{13}) + (1 - \lambda_{13}) l_{13} R_0 \right]$	$\left(\frac{1}{4} Q_d + R_0 \right) l_{13} - M_0$
Поперечная	$ R_0 $	$(1 - \lambda_{13}) l_{13} R_0$	$R_0 l_{13} - M_0$

Во всех случаях для определения требуемого момента сопротивления

ния сечения балки перекрытия или его участка согласно 1.5.5 в качестве расчетного изгибающего момента M принимается наибольшее по абсолютному значению из вычисленных значений M_{max} , M_0 и M_l .

4.3.16 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления продольного карлингса-комингса на участке 11 без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{11}^x = \frac{M_{11}^x}{k_\sigma \sigma_n}; \quad (4.3.16-1)$$

$$W'_{11}^x = \alpha_k W'_{12}; \quad (4.3.16-2)$$

$$W'_{11}^x = \frac{\alpha_k \alpha_o}{\alpha_6} W'^y_{11}; \quad (4.3.16-3)$$

$$W'_{11}^x = \alpha_k \alpha_o W'_{13}; \quad (4.3.16-4)$$

$$W'_{11}^x = \frac{\alpha_k \alpha_o}{\alpha_d} W'_d \quad (4.3.16-5)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{12} — по формулам (4.3.16-6) — (4.3.16-10);

W'^y_{11} — по формулам (4.3.16-11) — (4.3.16-15);

W'_{13} — по формулам (4.3.16-16) — (4.3.16-20);

W'_d — по формулам (4.3.16-21) — (4.3.16-25);

M_{11}^x — расчетный изгибающий момент продольного карлингса-комингса на участке 11 согласно 4.3.15.

Требуемый момент сопротивления продольного карлингса-комингса на участке 12 без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{12} = \frac{M_{12}}{k_\sigma \sigma_n}; \quad (4.3.16-6)$$

$$W'_{12} = \frac{W'^x_{11}}{\alpha_k}; \quad (4.3.16-7)$$

$$W'_{12} = \frac{\alpha_o}{\alpha_6} W'^y_{11}; \quad (4.3.16-8)$$

$$W'_{12} = \alpha_o W'_{13}; \quad (4.3.16-9)$$

$$W'_{12} = \frac{\alpha_o}{\alpha_d} W'_{12} \quad (4.3.16-10)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{11}^x — по формулам (4.3.16-1) — (4.3.16-5);

W'_{11}^y —

по формулам (4.3.16-11) — (4.3.16-15);

W'_{13} — по формулам (4.3.16-16) — (4.3.16-20);

W'_{12} — по формулам (4.3.16-21) — (4.3.16-25);

M_{12} — расчетный изгибающий момент продольного карлингса-комингса на участке 12 согласно 4.3.15.

Требуемый момент сопротивления концевой люкового бимса на участке 11 без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{11}^y = \frac{M_{11}^y}{k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (4.3.16-11)$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_k \alpha_o} W'_{11}^x; \quad (4.3.16-12)$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_o} W'_{12}; \quad (4.3.16-13)$$

$$W'_{11}^y = \alpha_6 W'_{13}; \quad (4.3.16-14)$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_d} W'_{12}; \quad (4.3.16-15)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{11}^x — по формулам (4.3.16-1) — (4.3.16-5);

W'_{12} — по формулам (4.3.16-6) — (4.3.16-10);

W'_{13} — по формулам (4.3.16-11) — (4.3.16-20);

W'_{12} — по формулам (4.3.16-21) — (4.3.16-25);

M_{11}^y —

расчетный изгибающий момент концевой люкового бимса на участке 11 согласно 4.3.15.

Требуемый момент сопротивления концевой люкового бимса на участке 13 без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{13} = \frac{M_{13}}{k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (4.3.16-16)$$

$$W'_{13} = \frac{W'^x_{11}}{\alpha_k \alpha_o}; \quad (4.3.16-17)$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{12}}{\alpha_o}; \quad (4.3.16-18)$$

$$W'_{13} = \frac{W'^y_{11}}{\alpha_6}; \quad (4.3.16-19)$$

$$W'_{13} = \frac{W'_d}{\alpha_d} \quad (4.3.16-20)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'^x_{11} — по формулам (4.3.16-1) — (4.3.16-5);

W'_{12} — по формулам (4.3.16-6) — (4.3.16-10);

W'^y_{11} — по формулам (4.3.16-11) — (4.3.16-15);

W'_d — по формулам (4.3.16-21) — (4.3.16-25);

M_{13} — расчетный изгибающий момент концевой люковой бимсы на участке 13 согласно 4.3.15.

Требуемый момент сопротивления дополнительного рамного бимса без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_d = \frac{M_d}{k_{\sigma} \sigma_n}; \quad (4.3.16-21)$$

$$W'_d = \frac{\alpha_d}{\alpha_k \alpha_o} W'^x_{11}; \quad (4.3.16-22)$$

$$W'_d = \frac{\alpha_d}{\alpha_o} W'_{12}; \quad (4.3.16-23)$$

$$W'_d = \frac{\alpha_d}{\alpha_6} W'^y_{11}; \quad (4.3.16-24)$$

$$W'_d = \alpha_d W'_{13} \quad (4.3.16-25)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'^x_{11} — по формулам (4.3.16-1) — (4.3.16-5);

W'_{12} — по формулам (4.3.16-6) — (4.3.16-10);

W'^y_{11} — по формулам (4.3.16-11) — (4.3.16-15);

W'_{13} — по формулам (4.3.16-16) — (4.3.16-20);

M_d — расчетный изгибающий момент дополнительного рамного бимса согласно 4.3.15.

4.3.17 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия и их участков без учета износа определяется по следующим формулам:

для продольного карлингса-комингса на участке 11

$$f'_c = \frac{N_{11}^x}{k_\sigma \tau_n},$$

где N_{11}^x — значение N_{max} для продольного карлингса-комингса на участке 11 согласно 4.3.15;

для продольного карлингса-комингса на участке 12

$$f'_c = \frac{N_{12}}{k_\sigma \tau_n},$$

где N_{12} — значение N_{max} для продольного карлингса-комингса на участке 12 согласно 4.3.15;

для концевой люкового бимса на участке 11

$$f'_c = \frac{N_{11}^y}{k_\sigma \tau_n},$$

где N_{11}^y — значение N_{max} для концевой люкового бимса на участке 11 согласно 4.3.15;

для концевой люкового бимса на участке 13

$$f'_c = \frac{N_{13}}{k_\sigma \tau_n},$$

где N_{13} — значение N_{max} для концевой люкового бимса на участке 13 согласно 4.3.15;

для дополнительного рамного бимса

$$f'_c = \frac{N_d}{k_\sigma \tau_n},$$

где N_d — значение N_{max} для дополнительного рамного бимса согласно 4.3.15.

4.3.18 Числовой пример. Вторая палуба; поперечная система набора; пиллерсы расположены в углах люка; схема перекрытия соответствует схеме 0у в табл.4.3.5; борт одинарный.

1 Исходные данные:

— длина перекрытия (расстояние между поперечными переборками согласно 4.1.5) $L_1 = 18,6$ м;

— ширина перекрытия (ширина судна в данном районе согласно 4.1.5) $B = 16,5$ м;

— длина участка продольного карлингса-комингса в пределах люкового выреза (длина люка) $l_{11} = 9,6$ м;

— длина участка продольного карлингса-комингса вне люкового выреза

$$l_{12} = \frac{1}{2} (L_1 - l_{11}) = \frac{1}{2} (18,6 - 9,6) = 4,5 \text{ м};$$

— длина участка концевого люкового бимса в пределах люкового выреза (ширина люка) $b = 8,5 \text{ м}$;

— длина участка концевого люкового бимса вне люкового выреза

$$l_{13} = \frac{1}{2} (B_1 - b) = \frac{1}{2} (16,5 - 8,5) = 4,0 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно 4.1.3 $p = 20,6 \text{ кПа}$;

— коэффициент допускаемых напряжений согласно 4.1.3

$$k_\sigma = k_\tau = 0,7;$$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$$\sigma_n = 235 \text{ МПа}; \tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 235 = 134 \text{ МПа}.$$

.2 Безразмерные соотношения. Согласно 4.3.6 и 4.3.7

$$i_k = i_6 = 8,0; i_o = 1;$$

$$\alpha_k = \alpha_6 = i_k^{3/4} = (8,0)^{3/4} = 4,76; \alpha_o = i_o^{3/4} = 1^{3/4} = 1.$$

.3 Коэффициенты a_{ji} системы уравнений. Коэффициенты a_{ji} системы уравнений по 4.3.8 вычисляются по формулам табл. 4.3.11-1. Результаты вычислений представлены в табл. 4.3.18. Размерность линейных величин — м.

Таблица 4.3.18

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	M_1^x	M_2^y	M_1^y	M_3^y
1	16,8	6,00	0	0
2	0	0	14,92	5,33
3	0,750	1,50	0	0
4	0	0	0,667	1,333

.4 Суммарные значения внешних нагрузок, действующих на балки перекрытия и их участки.

По формулам табл. 4.3.14

$$Q_{11}^x = \frac{1}{2} p l_{11} (b + l_{13}) = \frac{1}{2} 20,6 \cdot 9,6 \cdot (8,5 + 4,0) = 1236 \text{ кН};$$

$$Q_{11}^y = 0;$$

$$Q_{12} = \frac{1}{2} p l_{12} (b + l_{13}) = \frac{1}{2} 20,6 \cdot 4,5 \cdot (8,5 + 4,0) = 579 \text{ кН};$$

$$Q_{13} = 0.$$

.5 Коэффициенты b_i . По формулам табл. 4.3.12

$$b_1 = \frac{1}{24} (i_k l_{12}^2 Q_{12} + l_{11}^2 Q_{11}^x) = \frac{1}{24} (8 \cdot 4,5^2 \cdot 579 + 9,6^2 \cdot 1236) = 8660 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$b_2 = \frac{1}{24} (i_6 l_{13}^2 Q_{13} + \frac{b^2}{8} Q_{11}^y) = 0;$$

$$b_3 = \frac{1}{24} l_{12}^2 Q_{12} = \frac{1}{24} 4,5^2 \cdot 579 = 489 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$b_4 = \frac{1}{24} l_{13}^3 Q_{13} = 0.$$

.6 Решение системы уравнений по 4.3.8 для варианта 1. Согласно 4.3.10 из табл. 4.3.18 вычеркивается последняя колонка и последняя строка (они отделены жирными линиями), соответственно отбрасывается коэффициент b_4 . Значения неизвестных, полученных из решения этой системы уравнений:

$$M_{1(c)}^x = 486 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{2(c)}^x = 83,2 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{1(c)}^y = 0.$$

Проверка правильности решения согласно указаниям 4.3.9 выполняется подстановкой в систему уравнений полученных значений неизвестных.

$$16,8 \cdot 486 + 6,00 \cdot 83,2 = 8660 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$14,92 \cdot 0 = 0;$$

$$0,750 \cdot 486 + 1,500 \cdot 83,2 = 489 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Результат совпадает с b_i с точностью до последней значащей цифры.

.7 Решение системы уравнений по 4.3.8 для варианта 2. Согласно 4.3.10 табл. 4.3.18 и коэффициенты b_i используются полностью. Значения неизвестных, полученных из решения этой системы уравнений:

$$M_{1(ж)}^x = 486 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{2(ж)}^x = 83,2 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{1(ж)}^y = 0; M_{3(ж)}^y = 0.$$

Проверка правильности решения согласно указаниям 4.3.9 выполняется подстановкой в систему уравнений полученных значений неизвестных.

$$16,8 \cdot 486 + 6,00 \cdot 83,2 = 8660 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$14,92 \cdot 0 + 5,33 \cdot 0 = 0;$$

$$0,750 \cdot 486 + 1,50 \cdot 83,2 = 489 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$0,667 \cdot 0 + 1,333 \cdot 0 = 0.$$

Результат совпадает с b_i с точностью до последней значащей цифры.

8 Расчетные значения неизвестных. Согласно 4.3.10

$$M_1^x = 0,7M_{1(c)}^x + 0,3M_{1(ж)}^x = 0,7 \cdot 486 + 0,3 \cdot 486 = 486 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2^x = 0,7M_{2(c)}^x + 0,3M_{2(ж)}^x = 0,7 \cdot 83,2 + 0,3 \cdot 83,2 = 83,2 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_1^y = 0,7M_{1(c)}^y + 0,3M_{1(ж)}^y = 0;$$

$$M_3^y = 0,3M_{3(ж)}^y = 0.$$

9 Определение расчетных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов для продольного карлингса-комингса. По формулам табл. 4.3.15-1 для схемы 0у на участке 11

$$N_{11}^x = N_{max} = \frac{1}{2} Q_{11}^x = \frac{1}{2} 1236 = 618 \text{ кН};$$

$$M_0 = M_l = M_1^x = 486 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} Q_{11}^x l_{11} - M_1^x = \frac{1}{8} 1236 \cdot 9,6 - 486 = 998 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Из двух последних выбираем большее

$$M_{11}^x = 998 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

На участке 12 при поперечной системе набора

$$N_{12} = N_{max} = \frac{1}{2} Q_{12} + \frac{1}{l_{12}} (M_2^x - M_1^x) = \frac{1}{2} \cdot 579 + \frac{1}{4,5} (83,2 - 486) = 200 \text{ кН};$$

$$M_0 = M_2^x = 83,2 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_l = M_1^x = 486 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{max} = \frac{N_{max}^2}{2Q_{12}} \cdot l_{12} - M_2^x = \frac{200^2 \cdot 4,5}{2 \cdot 579} - 83,2 = 72,6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

при значении экстремума момента $x = \frac{N_{max} l_{12}}{Q_{12}} = \frac{200 \cdot 4,5}{579} = 1,56 \text{ м}.$

Из трех последних выбираем большее

$$M_{12} = 486 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

.10 *Определение расчетных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов для концевого люкового бимса. По формулам табл. 4.3.15-2 для схемы 0у при поперечной системе набора на участке 11*

$$N_{11}^y = N_{max} = 0;$$

$$M_0 = M_l = M_1^y = 0.$$

Следовательно,

$$M_{11}^y = 0.$$

На участке 13

$$N_{13} = N_{max} = \left| \frac{1}{l_{13}} (M_3^y - M_1^y) \right| = 0;$$

$$M_0 = M_3^y = 0;$$

$$M_l = M_1^y = 0.$$

Следовательно,

$$M_{13} = 0.$$

.11 *Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия и их участков без учета износа согласно 4.3.16:*

если предположить, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 11

$$W'_{11} = \frac{M_{11}^x}{k_{\sigma}\sigma_n} = \frac{998}{0,7 \cdot 235} 10^3 = 6,06 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = \frac{W'_{11}^x}{\alpha_k} = \frac{6,06 \cdot 10^3}{4,76} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_k \alpha_o} W'_{11}^x = \frac{4,76}{4,76 \cdot 1} 6,06 \cdot 10^3 = 6,06 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{11}^x}{\alpha_k \alpha_o} = \frac{6,06 \cdot 10^3}{4,76 \cdot 1} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 12

$$W'_{12} = \frac{M_{12}}{k_{\sigma}\sigma_n} = \frac{486}{0,7 \cdot 235} 10^3 = 2,95 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^x = \alpha_k W'_{12} = 4,76 \cdot 2,95 \cdot 10^3 = 14,04 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_o} W'_{12} = \frac{4,76}{1} 2,95 \cdot 10^3 = 14,04 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{12}}{\alpha_o} = \frac{2,95 \cdot 10^3}{1} = 2,95 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Предположение о расположении опасного сечения в концевом люковом бимсе не рассматривается, ибо последний не загружен. Из представленного следует, что к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 12. Поэтому окончательно

$$W'_{11}^x = W'_{11}^y = 14,04 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = W'_{13} = 2,95 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

12 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия и их участков без учета износа согласно 4.3.17:

для продольного карлингса-комингса на участке 11

$$f'_c = \frac{N_{11}^x}{k_{\sigma}\tau_n} = \frac{618}{0,7 \cdot 134} 10 = 65,8 \text{ см}^2;$$

для продольного карлингса-комингса на участке 12

$$f'_c = \frac{N_{12}}{k_{\sigma}\tau_n} = \frac{200}{0,7 \cdot 134} 10 = 21,4 \text{ см}^2.$$

Для концевой люкового бимса площадь стенки не регламентируется, ибо он не загружен.

4.3.19 Числовой пример. Верхняя палуба; смешанная система набора палубы; пиллерсы расположены в диаметральной плоскости под концевыми люковыми бимсами; схема перекрытия соответствует схеме 1с в табл.4.3.5; борт одинарный.

1. Исходные данные:

— длина перекрытия (расстояние между поперечными переборками согласно 4.1.5) $L_1 = 24,0$ м;

— ширина перекрытия (ширина судна в данном районе согласно 4.1.5) $B_1 = 27,5$ м;

— длина участка продольного карлингса-комингса в пределах люкового выреза (длина люка) $l_{11} = 14,4$ м;

— длина участка продольного карлингса-комингса вне люкового выреза

$$l_{12} = \frac{1}{2} (L_1 - l_{11}) = \frac{1}{2} (24,0 - 14,4) = 4,8 \text{ м};$$

— расстояние между рамными полубимсами $a_6 = 2,4$ м;

— длина участка концевой люкового бимса в пределах люкового выреза (ширина люка) $b = 16,7$ м;

— длина участка концевой люкового бимса вне люкового выреза

$$l_{13} = \frac{1}{2} (B_1 - b) = \frac{1}{2} (27,5 - 16,7) = 5,4 \text{ м};$$

— относительная длина того же участка

$$\lambda_{13} = \frac{l_{13}}{B_1} = \frac{5,4}{27,5} = 0,196;$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно 4.1.3 $p = 28,8$ кПа;

— коэффициент допускаемых напряжений

для продольного карлингса-комингса $k_\sigma = 0,58; k_\tau = 0,65;$

для остальных балок перекрытия $k_\sigma = k_\tau = 0,65;$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$$\sigma_n = 315 \text{ МПа}; \tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180 \text{ МПа}.$$

2 Безразмерные соотношения. Согласно 4.3.6 и 4.3.7

$$i_k = i_6 = 10,0; i_o = i_d = 1;$$

$$\alpha_k = \alpha_6 = i_k^{3/4} = (10,0)^{3/4} = 5,62; \alpha_o = \alpha_d = i_o^{3/4} = 1^{3/4} = 1.$$

3 Коэффициенты влияния дополнительного рамного бимса. Согласно 4.3.13 предварительно вычисляются составляющие коэффициентов влияния по формулам табл. 4.3.13

$$A_{00} = \lambda_{13}^2(3 - 4\lambda_{13}) = 0,196^2(3 - 4 \cdot 0,196) = 0,0854;$$

$$B_{00} = 3\lambda_{13}^2(1 - \lambda_{13})^2 = 3 \cdot 0,196^2(1 - 0,196)^2 = 0,0747;$$

$$\beta_0 = \frac{1}{8} \lambda_{13}^2(6 - 7\lambda_{13}) = \frac{1}{8} 0,196^2(6 - 7 \cdot 0,196) = 0,0223;$$

$$\gamma_0 = \frac{1}{4} \lambda_{13}^2(1 - \lambda_{13})(3 - 2\lambda_{13}) = \frac{1}{4} 0,196^2(1 - 0,196)(3 - 2 \cdot 0,196) = 0,0202.$$

Значения коэффициентов C_{00} и δ_0
при жестком защемлении

$$C_{00} = A_{00} - B_{00} = 0,0854 - 0,0747 = 0,0107;$$

$$\delta_0 = \beta_0 - \gamma_0 = 0,0223 - 0,0202 = 0,0021;$$

при свободном опирании

$$C_{00} = A_{00} = 0,0854;$$

$$\delta_0 = \beta_0 = 0,0223.$$

4 Коэффициенты a_{ji} системы уравнений. Коэффициенты a_{ji} системы уравнений по 4.3.8 вычисляются по формулам табл. 4.3.11-4. Результаты вычислений представлены в табл. 4.3.19. Размерность линейных величин — м.

Таблица 4.3.19-1

Значения коэффициентов a_{ji} при условии жесткого защемления

№ уравнения	Обозначение неизвестных						
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	M_4^y	F	R_0	M_3^y
1	-0,208	0,208	-0,305	0,120	0	0,500	0,185
2	23,2	8,00	0	0	2,08	14,4	0
3	0	0	20,8	1,39	3,05	0	9,00
4	0	0	1,39	2,78	-1,20	0	0
5	0,800	1,600	0	0	-0,208	1,44	0
6	8,64	8,64	0	0	-3,0	236	0
7	0	0	0,900	0	-0,185	0	1,800

Таблица 4.3.19-2

Значения коэффициентов a_i при условии свободного опирания

№ уравнения	Обозначение неизвестных					
	M_1^x	M_2^x	M_1^y	M_4^y	F	R_0
1	-0,208	0,208	-0,305	0,120	0	0,500
2	23,2	8,00	0	0	2,08	14,4
3	0	0	20,8	1,39	3,05	0
4	0	0	1,39	2,78	-1,20	0
5	0,800	1,600	0	0	-0,208	1,44
6	8,64	8,64	0	0	-3,0	1790

.5 Суммарные значения внешних нагрузок, воздействующих на балки перекрытия и их участки.

По формулам табл. 4.3.14

$$Q_{11}^x = \frac{1}{2} p l_{11} (b + l_{13}) = \frac{1}{2} 28,8 \cdot 14,4 (16,7 + 5,4) = 4580 \text{ кН};$$

$$Q_{11}^y = 0;$$

$$Q_{12} = \frac{1}{2} p l_{12} b = \frac{1}{2} 28,8 \cdot 4,8 \cdot 16,7 = 1154 \text{ кН};$$

$$Q_{13} = \frac{1}{4} p l_{13} (\alpha_6 + l_{12}) = \frac{1}{4} 28,8 \cdot 5,4 (2,4 + 4,8) = 280 \text{ кН};$$

$$Q_d = p l_{13} l_{12} = 28,8 \cdot 5,4 \cdot 4,8 = 747 \text{ кН}.$$

.6 Коэффициенты b_i . По формулам табл. 4.3.12

$$b_1 = \frac{1}{2} (Q_{12} + Q_{13} + Q_{11}^x + \frac{1}{2} Q_{11}^y) = \frac{1}{2} (1154 + 280 + 4580) = 3008 \text{ кН};$$

$$b_2 = \frac{1}{24} (i_k l_{12}^2 Q_{12} + l_{11}^2 Q_{11}^x) = \frac{1}{24} (10 \cdot 4,8^2 \cdot 1154 + 14,4^2 \cdot 4580) = 50,7 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$b_3 = \frac{1}{24} (i_6 l_{13}^2 Q_{13} + \frac{b^2}{8} Q_{11}^y) = \frac{1}{24} 10 \cdot 5,4^2 \cdot 280 = 3,40 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$b_4 = \frac{1}{192} b^2 Q_{11}^y = 0;$$

$$b_5 = \frac{1}{24} l_{12}^2 Q_{12} = \frac{1}{24} 4,8^2 \cdot 1154 = 1,108 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$b_7 = \frac{1}{24} l_{13}^2 Q_{13} = \frac{1}{24} 5,4^2 \cdot 280 = 0,340 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Значение коэффициента b_6 при условии жесткого защемления

$$b_6 = \frac{5}{64} l_{12}^3 Q_{12} - \frac{i_o}{i_d} \delta_0 B_1^3 Q_d = \frac{5}{64} 4,8^3 \cdot 1154 - \frac{1}{1} 0,0021 \cdot 27,5^3 \cdot 747 =$$

$$= -22,6 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Значение коэффициента b_6 при условии свободного опирания

$$b_6 = \frac{5}{64} l_{12}^3 Q_{12} - \frac{i_o}{i_d} \delta_0 B_1^3 Q_d = \frac{5}{64} 4,8^3 \cdot 1154 - \frac{1}{1} 0,0223 \cdot 27,5^3 \cdot 747 =$$

$$= -336 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

7 Решение системы уравнений по 4.3.8 для варианта 1. Значения неизвестных, полученных из решения этой системы уравнений (табл. 4.3.19-2):

$$M_{1(c)}^x = -689 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{2(c)}^x = 3674 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{1(c)}^y = -3294 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{4(c)}^y = 9853 \text{ кН} \cdot \text{м}; F_{(c)} = 19071 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; R_{0(c)} = -170 \text{ кН}.$$

Проверка правильности решения согласно указаниям 4.3.9 выполняется подстановкой в систему уравнений полученных значений неизвестных.

$$0,208 \cdot 689 + 0,208 \cdot 3674 + 0,305 \cdot 3674 + 0,12 \cdot 9853 + 0,5 \cdot 170 = 3008 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$-23,2 \cdot 689 + 8 \cdot 3674 + 2,08 \cdot 19071 - 14,4 \cdot 170 = 50700 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$-20,8 \cdot 3674 + 1,39 \cdot 9853 + 3,05 \cdot 19071 = 3400 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$-1,39 \cdot 3674 + 2,78 \cdot 9853 - 1,2 \cdot 19071 = 0;$$

$$-0,8 \cdot 689 + 1,6 \cdot 3674 - 0,208 \cdot 19071 = 1108 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$-8,64 \cdot 689 + 8,64 \cdot 3674 - 3 \cdot 19071 - 1790 \cdot 170 = -336 \cdot 10^3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Результат совпадает с b_i с точностью до последней значащей цифры.

8 Решение системы уравнений по 4.3.8 для варианта 2. Значения неизвестных, полученных из решения этой системы уравнений (табл. 4.3.19-1):

$$M_{1(ж)}^x = 274 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2(ж)}^x = 2247 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{1(ж)}^y = -3652 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{4(ж)}^y = 7340 \text{ кН}\cdot\text{м}; F_{(ж)} = 12820 \text{ кН}\cdot\text{м}^3; R_{0(ж)} = -25,0 \text{ кН};$$

$$M_{3(ж)}^y = 3333 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Проверка правильности решения согласно указаниям 4.3.9 выполняется подстановкой в систему уравнений полученных значений неизвестных.

$$-0,208\cdot 274 + 0,208\cdot 2247 + 0,305\cdot 3652 + 0,12\cdot 7340 - 0,5\cdot 25,0 + 0,185\cdot 3360 = 3008 \text{ кН}\cdot\text{м}^2;$$

$$23,2\cdot 274 + 8\cdot 2247 + 2,08\cdot 12820 - 14,4\cdot 25,0 = 50700 \text{ кН}\cdot\text{м}^2;$$

$$-20,8\cdot 3652 + 1,39\cdot 7340 + 3,05\cdot 12820 + 9\cdot 3360 = 3400 \text{ кН}\cdot\text{м}^2;$$

$$-1,39\cdot 3652 + 2,78\cdot 7340 - 1,2\cdot 12820 = 0;$$

$$-0,8\cdot 274 + 1,6\cdot 2247 - 0,208\cdot 12820 - 1,44\cdot 25,0 = 1108 \text{ кН}\cdot\text{м}^2;$$

$$-8,64\cdot 274 + 8,64\cdot 2247 - 3\cdot 12820 - 236\cdot 25,0 = -22600 \text{ кН}\cdot\text{м}^2.$$

$$0,9\cdot 3652 - 0,185\cdot 12820 + 1,8\cdot 3360 = 453 \text{ кН}\cdot\text{м}^2.$$

Результат совпадает с b_i с точностью до последней значащей цифры.

9. Расчетные значения неизвестных. Согласно 4.3.10

$$M_1^x = 0,7M_{1(c)}^x + 0,3M_{1(ж)}^x = -0,7\cdot 689 + 0,3\cdot 274 = -400 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_2^x = 0,7M_{2(c)}^x + 0,3M_{2(ж)}^x = 0,7\cdot 3674 + 0,3\cdot 2247 = 3245 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_1^y = 0,7M_{1(c)}^y + 0,3M_{1(ж)}^y = -0,7\cdot 3294 - 0,3\cdot 3652 = -3400 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_4^y = 0,7M_{4(c)}^y + 0,3M_{4(ж)}^y = 0,7\cdot 9853 + 0,3\cdot 7340 = 9100 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$R_0 = 0,7 R_{0(c)} + 0,3 R_{0(ж)} = -0,7 \cdot 170 - 0,3 \cdot 25 = -127 \text{ кН};$$

$$M_3^y = 0,3 M_{3(ж)}^y = 0,3 \cdot 3333 = 1000 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

.10 *Определение расчетных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов для продольного карлингса-комингса.* По формулам табл. 4.3.15-1 для схемы 0у на участке 11

$$N_{11}^x = N_{max} = \frac{1}{2} Q_{11}^x = \frac{1}{2} 4580 = 2290 \text{ кН};$$

$$M_0 = M_l = M_1^x = -400 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} Q_{11}^x l_{11} - M_1^x = \frac{1}{8} 4580 \cdot 14,4 - 400 = 8650 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Из двух последних выбираем большее

$$M_{11}^x = 8650 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

На участке 12 при смешанной системе набора и схеме 1с

$$\begin{aligned} N_{12} = N_{max} &= \frac{1}{2} Q_{12} + \frac{1}{l_{12}} (M_2^x - M_1^x) - \frac{1}{2} R_0 = \\ &= \frac{1}{2} 1154 + \frac{1}{4,8} (3245 + 400) + \frac{1}{2} 127 = 1400 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$M_0 = M_2^x = 3245 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_l = M_1^x = -400 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{max} = \frac{N_{max}^2 l_{12}}{2 Q_{12}} - M_2^x = \frac{1400^2 \cdot 4,8}{2 \cdot 1154} - 3245 = 830 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{(N_{max} + R_0)^2 l_{12}}{2 Q_{12}} - \frac{R_0 l_{12}}{2} - M_2^x = \\ &= \frac{4,8(1400 - 127)^2}{2 \cdot 1154} + \frac{127 \cdot 4,8}{2} - 3245 = 430 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{R_0 l_{12}}{4} - \frac{Q_{12} l_{12}}{8} + \frac{1}{2} (M_1^x + M_2^x) = \\ &= \frac{-127 \cdot 4,8}{4} - \frac{1154 \cdot 4,8}{8} + \frac{1}{2} (-400 + 3245) = 426 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Из пяти последних выбираем большее по абсолютному значению

$$M_{12} = 3245 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

.11 *Определение расчетных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов для концевого люкового бимса. По формулам табл. 4.3.15-2 для схемы 1с при смешанной системе набора на участке 11*

$$N_{11}^y = \left| \frac{2}{b} (M_4^y - M_1^y) \right| = \left| \frac{2}{16,7} (9100 + 3400) \right| = 1497 \text{ кН};$$

$$M_0 = M_4^y = 9100 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_l = M_1^y = -3400 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Из двух последних выбираем большее по абсолютному значению

$$M_{11}^y = 9100 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

На участке 13 при смешанной системе набора

$$N_{13} = N_{max} = \frac{Q_{13}}{2} + \frac{1}{l_{13}} (M_3^y - M_1^y) = \frac{280}{2} + \frac{1}{5,4} (1000 + 3400) = 955 \text{ кН};$$

$$M_0 = M_3^y = 1000 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_l = M_1^y = -3400 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{max} = \frac{N_{max}^2}{2Q_{13}} l_{13} - M_3^y = \frac{955^2 \cdot 5,4}{2 \cdot 280} - 1000 = 7800 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

при значении экстремума момента $x = 18,4 \text{ м} > l_{13}$.

Из трех последних выбираем большее по абсолютному значению

$$M_{13} = 3400 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

.12 *Определение расчетных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов для дополнительного рамного бимса. По формуле табл. 4.3.15-3 для смешанной системы набора*

$$N_d = N_{max} = \left| \frac{1}{2} Q_d + R_0 \right| = \left| \frac{1}{2} 747 - 127 \right| = 246 \text{ кН};$$

$$\begin{aligned} M_0 &= \left[\frac{1}{40} Q_d B_1 \lambda_{13} (3 - 2\lambda_{13}) + (1 - \lambda_{13}) l_{13} R_0 \right] = \\ &= \left[\frac{1}{40} 747 \cdot 27,5 \cdot 0,196 (3 - 2 \cdot 0,196) - (1 - 0,196) \cdot 4,5 \cdot 127 \right] = -287 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

$$M_{max} = \left(\frac{1}{4} Q_d + R_0 \right) l_{13} - M_0 = \left(\frac{1}{4} 747 - 127 \right) \cdot 5,4 + 287 = 611 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Из двух последних выбираем большее по абсолютному значению

$$M_d = 611 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

.13 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия и их участков без учета износа согласно 4.3.16:

если предположить, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 11

$$W'_{11} = \frac{M_{11}^x}{k_\sigma \sigma_n} = \frac{8650}{0,58 \cdot 315} 10^3 = 47,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = \frac{W'_{11}^x}{\alpha_k} = \frac{47,3 \cdot 10^3}{5,62} = 8,42 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_k \alpha_o} W'_{11}^x = \frac{5,62}{5,62 \cdot 1} 47,3 \cdot 10^3 = 47,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{11}^x}{\alpha_k \alpha_o} = \frac{47,3 \cdot 10^3}{5,62 \cdot 1} = 8,42 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{1d} = \frac{\alpha_d}{\alpha_k \alpha_o} W'_{11}^x = \frac{1}{5,62 \cdot 1} 47,3 \cdot 10^3 = 8,42 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 12

$$W'_{12} = \frac{M_{12}}{k_\sigma \sigma_n} = \frac{3245}{0,58 \cdot 315} 10^3 = 17,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^x = \alpha_k W'_{12} = 5,62 \cdot 17,8 \cdot 10^3 = 99,9 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_o} W'_{12} = \frac{5,62}{1} 17,8 \cdot 10^3 = 99,9 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{12}}{\alpha_o} = \frac{17,8 \cdot 10^3}{1} = 17,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{1d} = \frac{\alpha_d}{\alpha_o} W'_{12} = \frac{1}{1} 17,8 \cdot 10^3 = 17,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в концевом люковом бимсе на участке 11

$$W'_{11}^y = \frac{M_{11}^y}{k_\sigma \sigma_n} = \frac{9100}{0,65 \cdot 315} 10^3 = 44,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = \frac{\alpha_o}{\alpha_6} W'_{11}^y = \frac{1}{5,62} 44,4 \cdot 10^3 = 7,90 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}{}^x = \frac{\alpha_k \alpha_o}{\alpha_6} W'_{11}{}^y = \frac{5,62 \cdot 1}{5,62} 44,4 \cdot 10^3 = 44,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{13} = \frac{W'_{11}{}^y}{\alpha_6} = \frac{44,4 \cdot 10^3}{5,62} = 7,90 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{д}} = \frac{\alpha_{\text{д}}}{\alpha_6} W'_{11}{}^y = \frac{1}{5,62} 44,4 \cdot 10^3 = 7,90 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в концевом люковом бимсе на участке 13

$$W'_{13} = \frac{M_{13}}{k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{3400}{0,65 \cdot 315} 10^3 = 16,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}{}^x = \alpha_k \alpha_o W'_{13} = 5,62 \cdot 1 \cdot 16,6 \cdot 10^3 = 93,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = \alpha_o W'_{13} = 1 \cdot 16,6 \cdot 10^3 = 16,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}{}^y = \alpha_6 W'_{13} = 5,62 \cdot 16,6 \cdot 10^3 = 93,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{д}} = \alpha_{\text{д}} W'_{13} = 1 \cdot 16,6 \cdot 10^3 = 16,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в дополнительном рамном бимсе

$$W'_{\text{д}} = \frac{M_{\text{д}}}{k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{610}{0,65 \cdot 315} 10^3 = 2,98 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}{}^x = \frac{\alpha_k \alpha_o}{\alpha_{\text{д}}} W'_{\text{д}} = \frac{5,62 \cdot 1}{1} 2,98 \cdot 10^3 = 16,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = \frac{\alpha_o}{\alpha_{\text{д}}} W'_{\text{д}} = \frac{1}{1} 2,98 \cdot 10^3 = 2,98 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{11}{}^y = \frac{\alpha_6}{\alpha_{\text{д}}} W'_{\text{д}} = \frac{5,62}{1} 2,98 \cdot 10^3 = 16,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{\text{д}} = \frac{1}{\alpha_{\text{д}}} W'_{\text{д}} = \frac{1}{1} 2,98 \cdot 10^3 = 2,98 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Из представленного следует, что к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в продольном карлингсе-комингсе на участке 12. Поэтому окончательно

$$W'_{11}{}^x = W'_{11}{}^y = 99,9 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_{12} = W'_{13} = W'_{\text{д}} = 17,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.14 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия и их участков без учета износа согласно 4.3.17:

для продольного карлингса-комингса на участке 11

$$f'_c = \frac{N_{11}^x}{k_\sigma \tau_n} = \frac{2290}{0,65 \cdot 180} 10 = 196 \text{ см}^2;$$

для продольного карлингса-комингса на участке 12

$$f'_c = \frac{N_{12}}{k_\sigma \tau_n} = \frac{1400}{0,65 \cdot 180} 10 = 120 \text{ см}^2;$$

для концевого люкового бимса на участке 11

$$f'_c = \frac{N_{11}^y}{k_\sigma \tau_n} = \frac{1497}{0,65 \cdot 180} 10 = 128 \text{ см}^2;$$

для концевого люкового бимса на участке 13

$$f'_c = \frac{N_{13}}{k_\sigma \tau_n} = \frac{955}{0,65 \cdot 180} 10 = 82 \text{ см}^2;$$

для дополнительного рамного бимса

$$f'_c = \frac{N_d}{k_\sigma \tau_n} = \frac{246}{0,65 \cdot 180} 10 = 21 \text{ см}^2.$$

5 ПЕРЕКРЫТИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПЕРЕБОРОК

5.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

5.1.1 Указания настоящего раздела относятся к расчету прочности регулярных перекрытий поперечных переборок, имеющих рамные стойки и горизонтальные рамы (диафрагмы и платформы у коффердажных переборок) с вертикальными стойками или горизонтальными балками в качестве основного набора, согласно п.п. 2.7.4.3.2 и 3.3.4.9.4 Правил.

5.1.2 Внешняя нагрузка на перекрытие переборки распределена равномерно по ширине судна и изменяется линейно по высоте переборки.

В силу указанного распределение усилий в связях перекрытия может быть симметрично только относительно вертикальной оси, расположенной посередине ширины перекрытия. При использовании материалов раздела 6 рассматривается представленный там и несимметричный случай.

5.1.3 Расчетное давление на связи перекрытия переборок определяется согласно требованиям п.п. 2.7.3 и 3.3.4.9.4 Правил.

При определении размеров связей перекрытия коэффициенты допускаемых напряжений должны выбираться в соответствии с требованиями п.п 2.7.4.3.1 и 3.3.4.9.4 Правил.

5.1.4 Перекрытие переборки считается составленным из рамных стоек и горизонтальных рам. Расчетная длина их пролета включает длину книц.

У коффердамных переборок балками перекрытия соответственно являются диафрагмы и платформы. Ширина перекрытия — ширина трюма (танка) посередине высоты переборки, высота перекрытия — расстояние между настилами второго дна и палубы.

5.1.5 Рамные стойки в трюмах многопалубных судов считаются упруго заделанными по концам с коэффициентом опорной пары

$$\kappa = 0,4.$$

Рамные стойки в междупалубных помещениях и надстройках упруго заделаны по концам с коэффициентом опорной пары

$$\kappa = 0,3.$$

Рамные стойки в грузовых помещениях однопалубных судов упруго заделаны по концам с коэффициентом опорной пары
у нижнего конца

$$\kappa_0 = 0,5;$$

у верхнего конца

$$\kappa_l = 0,3.$$

При этом для расчета перекрытия принимается среднее значение

$$\kappa = 0,4 ,$$

различие значений κ_0 и κ_l учитывается только при определении коэффициентов моментов в опорных сечениях (см. 6.1.5).

Для диафрагм коффердамных переборок
у нижнего конца

$$\kappa_0 = 0,5;$$

у верхнего конца

$$\kappa_l = 0.$$

Горизонтальные рамы и платформы коффердажных переборок по концам считаются упруго заделанными с коэффициентом опорной пары

$$\kappa = 0,3.$$

Исключение составляют горизонтальные рамы наливных судов, для которых

в центральных танках

$$\kappa = 1,$$

в бортовых танках

$$\kappa = 0,8.$$

5.1.6 Для каждой балки перекрытия из всех вычисленных для нее значений коэффициента момента m для дальнейшего расчета следует принимать наименьшее по абсолютной величине значение. Исключение составляют горизонтальные рамы переборок наливных судов, для которых коэффициент момента для опорного сечения из такого сопоставления должен быть исключен.

5.1.7 Для выделения величин, относящихся к разным балкам перекрытия, используются следующие индексы:

г — для горизонтальных рам;

с — для рамных стоек;

д — для усиленной доковой стойки.

5.2 ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРЕБОРОК С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТОЙКАМИ

5.2.1 В данной главе рассматриваются перекрытия поперечных переборок судов всех типов с вертикальными стойками в качестве основного набора, если число рамных стоек, включая доковую стойку, $k_c \leq 5$, а число горизонтальных рам $k_r \leq 4$.

5.2.2 В расчетах перекрытий ось x считается направленной по высоте переборки, ось y — по ширине судна.

5.2.3 Внешняя нагрузка воспринимается горизонтальными рамами и распределяется равномерно вдоль рамы, но у каждой рамы разная.

Суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая нижней горизонтальной рамой согласно 6.3.2, определяется по формуле

$$Q = p_1 a_{\Gamma} l_{\Gamma},$$

где p_1 — расчетная нагрузка согласно 5.1.3 на уровне оси нижней рамы;

a_{Γ} — расстояние между горизонтальными рамами;

l_{Γ} — расчетный пролет горизонтальной рамы.

Для остальных горизонтальных рам вычисляются множители

$$q_i = \frac{p_i}{p_1},$$

где p_i — расчетная нагрузка согласно 5.1.3 на уровне оси i -ой рамы, если i — номер рамы, отсчитываемый снизу вверх, а номер нижней рамы считается 1.

5.2.4 Согласно 1.5.2 задается соотношение моментов инерции

$$\frac{I_{\Gamma}}{I_c},$$

и если имеется доковая стойка, усиленная по сравнению с другими рамными стойками, также задается

$$\frac{I_{\Gamma}}{I_d}.$$

Соответственно вычисляются параметры относительной жесткости перекрытия по формуле (1.4.3-4)

$$\mu = \frac{I_{\Gamma}}{I_c} \left(\frac{l_c}{l_{\Gamma}} \right)^3,$$

и по формуле (6.3.4)

$$\mu_0 = \frac{I_{\Gamma}}{I_d} \left(\frac{l_c}{l_{\Gamma}} \right)^3,$$

где l_c — расчетный пролет стойки.

5.2.5 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 5.2.4 позволяет определить соотношение требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытия без учета надбавок на износ

$$\alpha = \frac{W'_{\Gamma}}{W'_c} = \left(\frac{I_{\Gamma}}{I_c} \right)^{3/4};$$

$$\alpha_0 = \frac{W'_{\Gamma}}{W'_d} = \left(\frac{I_{\Gamma}}{I_d} \right)^{3/4}.$$

5.2.6 Согласно 5.1.2 и 5.2.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.2 — 6.5 применительно к схемам перекрытий, соответствующих несимметричному случаю.

5.2.7 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления сечения горизонтальной рамы без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\Gamma} = \frac{Ql_{\Gamma}}{m_{\Gamma}k_{\sigma}\sigma_n}; \quad (5.2.7-1)$$

$$W'_{\Gamma} = \alpha W'_{\text{с}}; \quad (5.2.7-2)$$

$$W'_{\Gamma} = \alpha_0 W'_{\text{д}} \quad (5.2.7-3)$$

в зависимости от того, что больше,

где $W'_{\text{с}}$ — по формулам (5.2.7-4) — (5.2.7-6);

$W'_{\text{д}}$ — по формулам (5.2.7-7) — (5.2.7-9).

Требуемый момент сопротивления сечения рамной стойки без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\text{с}} = \frac{Ql_{\text{с}}}{m_{\text{с}}k_{\sigma}\sigma_n}; \quad (5.2.7-4)$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{W'_{\Gamma}}{\alpha}; \quad (5.2.7-5)$$

$$W'_{\text{с}} = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_{\text{д}} \quad (5.2.7-6)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_{Γ} — по формулам (5.2.7-1) — (5.2.7-3);

$W'_{\text{д}}$ — по формулам (5.2.7-7) — (5.2.7-9).

Требуемый момент сопротивления сечения доковой стойки без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_{\text{д}} = \frac{Ql_{\text{с}}}{m_{\text{д}}k_{\sigma}\sigma_n}; \quad (5.2.7-7)$$

$$W'_{\text{д}} = \frac{W'_{\Gamma}}{\alpha_0}; \quad (5.2.7-8)$$

$$W'_{\text{д}} = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_{\text{с}} \quad (5.2.7-9)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_r — по формулам (5.2.7-1) — (5.2.7-3);
 W'_c — по формулам (5.2.7-4) — (5.2.7-6).

Здесь коэффициенты m_r , m_c и m_d определяются согласно 5.2.6 с учетом требований 5.1.6, коэффициент k_σ — согласно 5.1.3, коэффициенты α и α_0 — согласно 5.2.4 или 5.2.5; суммарная нагрузка Q — по 5.2.3.

5.2.8 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам: для горизонтальной рамы

$$f'_c = \frac{n_r Q}{k_\tau \tau_n} ;$$

для рамной стойки

$$f'_c = \frac{n_c Q}{k_\tau \tau_n} ;$$

для доковой стойки

$$f'_c = \frac{n_d Q}{k_\tau \tau_n} ,$$

где n_r , n_c и n_d определяются согласно 5.2.6, коэффициент k_τ — согласно 5.1.3, суммарная нагрузка Q — по 5.2.3.

5.2.9 Числовой пример. Трюмная переборка многопалубного судна.

1 Исходные данные:

— высота перекрытия (расчетный пролет рамной стойки согласно 5.1.4) $l_c = 12,0$ м;

— ширина перекрытия (расчетный пролет горизонтальной рамы согласно 5.1.4) $l_r = 27,0$ м;

— число рамных стоек, включая доковую стойку, $k_c = 3$;

— число горизонтальных рам $k_r = 1$;

— расчетное расстояние между горизонтальными рамами

$$a_r = \frac{l_c}{k_r + 1} = \frac{12,0}{1 + 1} = 6,0 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки на уровне нижней горизонтальной рамы согласно 5.1.3 $p_1 = 115$ кПа;

— коэффициенты допускаемых напряжений согласно 5.1.3

$$k_\sigma = k_\tau = 0,75;$$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$$\sigma_n = 315 \text{ МПа};$$

$$\tau_n = 0,57 \sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180 \text{ МПа}.$$

— суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая нижней горизонтальной рамой, согласно 5.2.3

$$Q = p_1 a_{\Gamma} l_{\Gamma} = 115 \cdot 6,0 \cdot 27,0 = 18600 \text{ кН.}$$

2 Безразмерные параметры. Согласно 5.2.4 и 5.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_{\Gamma}}{W'_c} = 1;$$

$$\alpha_0 = \frac{W'_{\Gamma}}{W'_{\text{д}}} = 0,5$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{l_c}{l_{\Gamma}} \right)^3 = 1^{4/3} \left(\frac{12,0}{27,0} \right)^3 = 0,0878;$$

$$\mu_0 = \alpha_0^{4/3} \left(\frac{l_c}{l_{\Gamma}} \right)^3 = 0,5^{4/3} \left(\frac{12,0}{27,0} \right)^3 = 0,0348.$$

3 Схема перекрытия; граничные условия. Согласно 5.2.6 в табл. 6.3.3 рассматриваемому перекрытию соответствует схема 3.1н. Для горизонтальных рам коэффициент опорной пары согласно 5.1.5 $\varkappa^y = 0,3$. Оба конца рамной стойки согласно 5.1.5 упруго заделаны с $\varkappa^x = 0,4$.

4 Коэффициенты влияния горизонтальной рамы от узловых реакций. Поскольку горизонтальная рама симметрична относительно середины своего пролета, составляющие коэффициентов C_{ij}^y в формуле (6.2.2) должны определяться для симметричного случая, т.е. по табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2. В схеме 3.1н расчетное число узлов в пределах горизонтальной рамы $k_y = 3$. Тогда

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \varkappa^y B_{11}^y = 0,1250 - 0,3 \cdot 0,0938 = 0,0969;$$

$$C_{12}^y = A_{12}^y - \varkappa^y B_{12}^y = 0,1719 - 0,3 \cdot 0,1406 = 0,1297;$$

$$C_{21}^y = A_{21}^y - \varkappa^y B_{21}^y = 0,0859 - 0,3 \cdot 0,0703 = 0,0648;$$

$$C_{22}^y = A_{22}^y - \varkappa^y B_{22}^y = 0,1250 - 0,3 \cdot 0,1055 = 0,0934.$$

5 Коэффициенты влияния рамной стойки. Рамная стойка в общем случае не симметрична относительно середины своего пролета в силу несимметрии нагрузки. Поэтому при определении составляющих коэффициентов влияния от узловых реакций C_{ij}^x в формуле (6.2.2) следует рассматривать несимметричный случай, и в силу того, с учетом $\varkappa^x$,

реализуется вариант 1 закрепления концов согласно 6.2.4, а коэффициенты A_{ij} и B_{ij} определяются по табл. 6.2.5-3 и 6.2.5-4 для числа узлов в пределах рамной стойки $k_x = 1$.

$$C_{11}^x = A_{11}^x - \kappa^x B_{11}^x = 0,1250 - 0,4 \cdot 0,0938 = 0,0875.$$

6 Коэффициенты влияния горизонтальной рамы от внешней нагрузки. Для равномерно распределенной нагрузки и симметричного случая, ибо это соответствует условиям закрепления и загрузки горизонтальной рамы, составляющие коэффициентов влияния от внешней нагрузки δ_i^y в формуле (6.2.3) должны определяться по табл. 6.2.6-1. Для $k_y = 1$

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \kappa^y \gamma_1^y = 0,0781 - 0,3 \cdot 0,0625 = 0,0594;$$

$$\delta_2^y = \beta_2^y - \kappa^y \gamma_2^y = 0,0557 - 0,3 \cdot 0,0469 = 0,0416.$$

7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Для схемы 3.1н коэффициенты системы уравнений определяются по формулам табл. 6.3.4-2. Значения коэффициентов a_{ji} приведены в табл. 5.2.9.

8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых

Таблица 5.2.9

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	0,0999	0,1297
2	0,0648	0,1010

реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 3.1н, не симметричного относительно оси y , у которого загружены балки, параллельные оси y (горизонтальная рама), коэффициенты b_i определяются по формулам табл. 6.3.5-3.

$$b_1 = \delta_1^y = 0,0594;$$

$$b_2 = \delta_2^y = 0,0416.$$

9 *Решение системы уравнений.* Результаты решения системы уравнений:

$$r_1 = 0,353; r_2 = 0,1854.$$

Проверка правильности решения системы уравнений согласно указаниям 6.4.1 выполняется подстановкой в систему полученных значений r_i .

$$0,0999 \cdot 0,353 + 0,1297 \cdot 0,1854 = 0,0594;$$

$$0,0648 \cdot 0,353 + 0,1011 \cdot 0,1854 = 0,0416.$$

Результаты совпадают с b_i с точностью до последней значащей цифры.

10 *Коэффициенты момента и перерезывающей силы для горизонтальных рам.* Поскольку горизонтальные рамы загружены равномерно распределенной нагрузкой и симметричны относительно середины пролета, следует воспользоваться формулами табл. 6.5.7, а для соотнесения использованных там обезличенных обозначений узловых реакций — табл. 6.5.2-3. Из последней

$$r_a = r_1; r_b = r_2$$

и тогда для $k_y = 3$

$$n_r = n = \frac{1}{2} (1 - r_1 - 2r_2) = \frac{1}{2} (1 - 0,353 - 2 \cdot 0,1854) = 0,1379;$$

$$\frac{1}{m_0} = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8} r_1 - \frac{3}{16} r_2 \right) \kappa^y = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8} \cdot 0,353 - \frac{3}{16} \cdot 0,1854 \right) \cdot 0,3 = 0,001322$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{2} (n + r_2)^2 - \frac{1}{4} r_2 - \frac{1}{m_0} =$$

$$= \frac{1}{2} (0,1379 + 0,1854)^2 - \frac{1}{4} \cdot 0,1854 - 0,001322 = 0,0046.$$

Из двух последних выбираем меньшее

$$m_r = 217.$$

11 *Коэффициенты момента и перерезывающей силы доковой стойки.* В общем случае доковая стойка — балка, не загруженная внешней нагрузкой, с несимметричными относительно середины пролета значениями узловых реакций. Поэтому следует воспользоваться формулами

табл. 6.5.4-1 для варианта 1. Последний соответствует случаю, когда оба конца балки имеют одинаковую упругую заделку (см. табл. 6.2.4). Тогда

$$\begin{aligned}\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{m_l} = \frac{1}{8} r_1 \chi^x = \frac{1}{8} 0,353 \cdot 0,4 = 0,0177; \\ n_d &= \frac{1}{2} r_1 + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l} = \frac{1}{2} r_1 = \frac{1}{2} 0,362 = 0,177; \\ \frac{1}{m_m} &= \frac{1}{2} n_d - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2} 0,177 - 0,0177 = 0,0707.\end{aligned}$$

Из найденных m_0 и m_m выбираем меньшее

$$m_d = 14,1.$$

.12 Коэффициенты момента и перерезывающей силы рамной стойки. Для последней сохраняются те же формулы, что и для доковой стойки, только следуя табл. 6.5.4-2 заменим в них r_1 на r_2 . Тогда

$$\begin{aligned}\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{m_l} = \frac{1}{8} r_2 \chi^x = \frac{1}{8} 0,1854 \cdot 0,4 = 0,00927; \\ n_c &= \frac{1}{2} r_2 + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l} = \frac{1}{2} r_2 = \frac{1}{2} 0,1854 = 0,0927; \\ \frac{1}{m_m} &= \frac{1}{2} n_c - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2} 0,0927 - 0,00927 = 0,0371.\end{aligned}$$

Из найденных m_0 и m_m выбираем меньшее

$$m_c = 27,0.$$

.13 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 5.2.7:

если предположить, что опасное сечение располагается в горизонтальной раме,

$$\begin{aligned}W'_r &= \frac{Ql_r}{m_r k_{\sigma} \sigma_n} = \frac{18600 \cdot 27,0}{217 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 9,78 \cdot 10^3 \text{ см}^3; \\ W'_c &= \frac{W'_r}{\alpha} = \frac{9,78 \cdot 10^3}{1} = 9,78 \cdot 10^3 \text{ см}^3; \\ W'_d &= \frac{W'_r}{\alpha_0} = \frac{9,78 \cdot 10^3}{0,5} = 19,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;\end{aligned}$$

если предположить, что опасное сечение располагается в рамной стойке,

$$W'_c = \frac{Ql_c}{m_c k_\sigma \sigma_n} = \frac{18600 \cdot 12}{27,0 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 35,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_r = \alpha W'_c = 1 \cdot 35,0 \cdot 10^3 = 35,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_d = \frac{\alpha}{\alpha_0} W'_c = \frac{1}{0,5} 35,0 \cdot 10^3 = 70,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в доковой стойке,

$$W'_d = \frac{Ql_c}{m_d k_\sigma \sigma_n} = \frac{18600 \cdot 12}{14,1 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 66,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_r = \alpha_0 W'_d = 0,5 \cdot 66,8 \cdot 10^3 = 33,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \frac{\alpha_0}{\alpha} W'_d = \frac{0,5}{1} 66,8 \cdot 10^3 = 33,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в рамной стойке. Поэтому окончательно

$$W'_r = 35,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_c = 35,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_d = 70,0 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

14 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 5.2.8:

для горизонтальной рамы

$$f'_c = \frac{n_r Q}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,1379 \cdot 18600}{0,75 \cdot 180} 10 = 190 \text{ см}^2;$$

для рамной стойки

$$f'_c = \frac{n_c Q}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,0927 \cdot 18600}{0,75 \cdot 180} 10 = 128 \text{ см}^2;$$

для доковой стойки

$$f'_c = \frac{n_d Q}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,177 \cdot 18600}{0,75 \cdot 180} 10 = 244 \text{ см}^2.$$

5.3 ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРЕБОРОК С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ БАЛКАМИ

5.3.1 В данной главе рассматриваются перекрытия поперечных переборок судов всех типов с горизонтальными балками в качестве основного набора, если число рамных стоек, включая доковую стойку $k_c \leq 5$, а число горизонтальных рам $k_r \leq 4$.

5.3.2 В расчетах перекрытий ось x считается направленной по высоте переборки, ось y — по ширине судна.

5.3.3 Внешняя нагрузка, распределенная по линейному закону, в общем случае по «трапеции», воспринимается рамными стойками.

Суммарная внешняя нагрузка на рамную стойку согласно 6.3.2 определяется по формуле

$$Q = \frac{1}{2} (p_0 + p_l) a_c l_c,$$

где p_0 и p_l — расчетная нагрузка согласно 5.1.3 на уровне соответственно нижнего и верхнего конца рамной стойки;

a_c — расстояние между рамными стойками;

l_c — расчетный пролет рамной стойки.

Коэффициенты, характеризующие долю в суммарной нагрузке ее составляющих, согласно 6.3.5

— равномерно распределенной

$$q_p = \frac{2p_l}{p_0 + p_l};$$

— распределенной по «треугольнику»

$$q_r = \frac{p_0 - p_l}{p_0 + p_l}.$$

5.3.4 Указания 5.2.4 — 5.2.8 применяются в полной мере.

5.3.5 Числовой пример. Поперечная переборка центрального танка наливного судна.

1 Исходные данные:

— высота перекрытия (расчетный пролет рамной стойки согласно

5.1.4) $l_c = 15,1$ м;

— ширина перекрытия (расчетный пролет горизонтальной рамы согласно 5.1.4) $l_r = 13,2$ м;

— число рамных стоек, включая доковую стойку, $k_c = 1$;

— число горизонтальных рам $k_r = 2$;

— расчетное расстояние между рамными стойками

$$a_c = \frac{l_r}{k_c + 1} = \frac{13,2}{1 + 1} = 6,6 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно 5.1.3

на уровне нижнего конца рамной стойки $p_0 = 99,2 \text{ кПа};$

на уровне верхнего конца рамной стойки $p_l = 25,8 \text{ кПа};$

— коэффициенты допускаемых напряжений согласно 5.1.3

$$k\sigma = k_\tau = 0,75;$$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$$\sigma_n = 315 \text{ МПа}; \tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180 \text{ МПа};$$

— суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая рамной стойкой, согласно 5.3.3,

$$Q = \frac{1}{2} (p_0 + p_l) a_c l_c = \frac{1}{2} (99,2 + 25,8) \cdot 6,6 \cdot 15,1 = 6230 \text{ кН}$$

и коэффициенты, характеризующие ее составляющие

$$q_p = \frac{2p_l}{p_0 + p_l} = \frac{2 \cdot 25,8}{99,2 + 25,8} = 0,413;$$

$$q_\tau = \frac{p_0 - p_l}{p_0 + p_l} = \frac{99,2 - 25,8}{99,2 + 25,8} = 0,587.$$

2 Безразмерные параметры. Согласно 5.2.4 и 5.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_r}{W'_c} = 0,5$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{l_c}{l_r} \right)^3 = 0,5^{4/3} \left(\frac{15,1}{13,2} \right)^3 = 0,594.$$

3 Схема перекрытия; граничные условия. Согласно 5.2.6 в табл. 6.3.3 рассматриваемому перекрытию соответствует схема 1.2н. Для горизонтальных рам коэффициент опорной пары согласно 5.1.5 $\kappa^y = 1$. Оба конца рамной стойки согласно 5.1.5 упруго заделаны с $\kappa^x = 0,4$.

4 Коэффициенты влияния горизонтальной рамы от узловых реакций. Горизонтальная рама симметрична относительно середины своего пролета и загружена одной узловой реакцией. Поэтому при определении составляющих коэффициентов влияния от узловых реакций C_{ij}^y в формуле (6.2.2) следует рассматривать симметричный случай, т.е. табл. 6.2.5-1 и 6.2.5-2. В схеме 3.1н расчетное число узлов в пределах горизонтальной рамы $k_y = 1$. Тогда

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \kappa^y B_{11}^y = 0,1250 - 1 \cdot 0,0938 = 0,0312.$$

5 Коэффициенты влияния рамной стойки. Поскольку рамная стойка воспринимает нагрузку, распределенную по «трапеции», и значения узловых реакций не симметричны относительно середины ее пролета, составляющие коэффициентов влияния от узловых реакций C_{ij}^x по формуле (6.2.2) должны определяться для несимметричного случая, и в силу этого, с учетом κ^x , реализуется вариант 1 закрепления концов согласно 6.2.4, а коэффициенты A_{ij} и B_{ij} определяются по табл. 6.2.5-3 и 6.2.5-4 для числа узлов в пределах рамной стойки $k_x=2$. Тогда

$$C_{11}^x = A_{11}^x - \kappa^x B_{11}^x = 0,0988 - 0,4 \cdot 0,0768 = 0,0681;$$

$$C_{12}^x = A_{12}^x - \kappa^x B_{12}^x = 0,0864 - 0,4 \cdot 0,0713 = 0,0579;$$

$$C_{21}^x = A_{21}^x - \kappa^x B_{21}^x = 0,0864 - 0,4 \cdot 0,0713 = 0,0579;$$

$$C_{22}^x = A_{22}^x - \kappa^x B_{22}^x = 0,0988 - 0,4 \cdot 0,0768 = 0,0681.$$

6 Коэффициенты влияния рамной стойки от внешней нагрузки. Для нагрузки, распределенной по «трапеции», согласно формуле (6.3.5-1) требуется предварительное определение коэффициентов влияния от равномерно распределенной нагрузки δ_i^p по табл. 6.2.6-2 и от нагрузки, распределенной по «треугольнику», — по табл. 6.2.6-3. Используется вариант 1 закрепления концов балки. Для $k_x=2$ по табл. 6.2.6-2

$$\delta_1^p = \beta_1^p - \kappa^x \gamma_1^p = 0,0679 - 0,4 \cdot 0,0556 = 0,0457;$$

$$\delta_2^p = \beta_2^p - \kappa^x \gamma_2^p = 0,0679 - 0,4 \cdot 0,0556 = 0,0457;$$

по табл. 6.2.6-3

$$\delta_1^t = \beta_1^t - \kappa^x \gamma_1^t = 0,0700 - 0,4 \cdot 0,0568 = 0,0473;$$

$$\delta_2^t = \beta_2^t - \kappa^x \gamma_2^t = 0,0658 - 0,4 \cdot 0,0543 = 0,0441;$$

по формуле (6.3.5-1)

$$\delta_1^x = q_p \delta_1^p + q_t \delta_1^t = 0,413 \cdot 0,0457 + 0,587 \cdot 0,0473 = 0,0466;$$

$$\delta_2^x = q_p \delta_2^p + q_t \delta_2^t = 0,413 \cdot 0,0457 + 0,587 \cdot 0,0441 = 0,0447.$$

.7 Коэффициенты системы уравнений a_{ji} для определения узловых реакций. Для схемы 1.2н коэффициенты системы уравнений определяются по формулам табл.6.3.4-1. Значения коэффициентов a_{ji} приведены в табл. 5.3.5.

Таблица 5.3.5

Значения коэффициентов a_{ji}

№ уравнения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	0,0717	0,0344
2	0,0344	0,0717

.8 Свободные члены системы уравнений для определения узловых реакций — коэффициентов b_i . Для схемы перекрытия 1.2н, не симметричного относительно оси y , у которого загружены балки, параллельные оси x (рамная стойка), коэффициенты b_i определяются по формулам табл. 6.3.5-4.

$$b_1 = \mu \delta_1^x = 0,0594 \cdot 0,0466 = 0,0277;$$

$$b_2 = \mu \delta_2^x = 0,0594 \cdot 0,0448 = 0,0266.$$

.9 Решение системы уравнений. Результаты решения системы уравнений:

$$r_1 = 0,271; r_2 = 0,241.$$

Проверка правильности решения системы уравнений, согласно указаниям 6.4.1, выполняется подстановкой в систему полученных значений r_i .

$$0,0717 \cdot 0,271 + 0,0344 \cdot 0,241 = 0,0277;$$

$$0,0344 \cdot 0,271 + 0,0717 \cdot 0,241 = 0,0266.$$

Результаты совпадают с b_i с точностью до последней значащей цифры.

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для горизонтальных рам. Горизонтальные рамы — балки, не загруженные нагрузкой и симметричные относительно середины пролета. Следовательно, нужно воспользоваться формулами табл. 6.5.2-1, а для соотнесения использованных там обезличенных обозначений узловых реакций — табл. 6.5.2-3. Из последней

$$r_a = r_1 \text{ или } r_a = r_2$$

и тогда для $k_y = 1$

$$n_r = n = \frac{1}{2} r_1 = \frac{1}{2} 0,271 = 0,1354;$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{8} r_1 \kappa^y = \frac{1}{8} 0,271 \cdot 1 = 0,0339;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{4} r_1 - \frac{1}{m_0} = \frac{1}{4} 0,271 - 0,339 = 0,0339.$$

Согласно 5.1.6 при выборе m_r принимается во внимание только m_m . Поэтому

$$m_r = 29,5.$$

.11 Коэффициенты момента и перерезывающей силы рамной стойки. При нагрузке, распределенной по «трапеции», следует воспользоваться формулами табл. 6.5.8 для варианта 1, согласно табл. 6.2.4, поскольку оба конца рамной стойки упруго заделаны при $k_x = 2$. Кроме того, учтем, что коэффициенты моментов в опорных сечениях согласно 5.1.5 должны вычисляться в двух вариантах — по среднему значению $\kappa^x = 0,4$, чтобы потом воспользоваться для вычисления m_m и n , а также по $\kappa_0^x = 0,5$ и $\kappa_l^x = 0,3$ для прямых оценок изгибающего момента в опорных сечениях. Итак, при $\kappa^x = 0,4$

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_0} &= \left[\frac{q_p}{12} + \frac{q_r}{10} - \frac{2}{27} (2r_1 + r_2) \right] \kappa^x = \\ &= \left[\frac{0,413}{12} + \frac{0,587}{10} - \frac{2}{27} (2 \cdot 0,271 + 0,241) \right] \cdot 0,4 = 0,0141; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_l} &= \left[\frac{q_p}{12} + \frac{q_r}{15} - \frac{2}{27} (r_1 + 2r_2) \right] \kappa^x = \\ &= \left[\frac{0,413}{12} + \frac{0,587}{15} - \frac{2}{27} (0,271 + 2 \cdot 0,241) \right] \cdot 0,4 = 0,0071; \end{aligned}$$

при $\kappa_0^x = 0,5$

$$\begin{aligned}\frac{1}{m_0} &= \left[\frac{q_p}{12} + \frac{q_r}{10} - \frac{2}{27} (2r_1 + r_2) \right] \kappa_0^x = \\ &= \left[\frac{0,413}{12} + \frac{0,587}{10} - \frac{2}{27} (2 \cdot 0,271 + 0,241) \right] \cdot 0,5 = 0,0176;\end{aligned}$$

при $\kappa_l^x = 0,3$

$$\begin{aligned}\frac{1}{m_l} &= \left[\frac{q_p}{12} + \frac{q_r}{15} - \frac{2}{27} (r_1 + 2r_2) \right] \kappa_l^x = \\ &= \left[\frac{0,413}{12} + \frac{0,587}{15} - \frac{2}{27} (0,271 + 2 \cdot 0,241) \right] \cdot 0,3 = 0,0053; \\ n_c &= n = \frac{q_p}{2} + 2\frac{q_r}{3} - \frac{1}{3} (2r_1 + r_2) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l} = \\ &= \frac{0,413}{2} + 2 \cdot \frac{0,587}{3} - \frac{1}{3} (2 \cdot 0,271 + 0,241) + 0,0141 - 0,0071 = 0,344; \\ \bar{x}_1 &= \frac{1}{2q_r} \left[q_p + 2q_r - \sqrt{(q_p + 2q_r)^2 - 4nq_r} \right] = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 0,587} \left[0,413 + 2 \cdot 0,587 - \sqrt{(0,413 + 2 \cdot 0,587)^2 - 4 \cdot 0,344 \cdot 0,587} \right] = 0,238; \\ \bar{x}_2 &= \frac{1}{2q_r} \left[q_p + 2q_r - \sqrt{(q_p + 2q_r)^2 - 4(n + r_1)q_r} \right] = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 0,587} \left[0,413 + 2 \cdot 0,587 - \sqrt{(0,413 + 2 \cdot 0,587)^2 - 4(0,344 + 0,271) \cdot 0,587} \right] = 0,469; \\ \frac{1}{m_m} &= n\bar{x}_1 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_1^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_1^3}{3} - \frac{1}{m_0} = \\ &= 0,344 \cdot 0,238 - (0,413 + 2 \cdot 0,587) \frac{0,238^2}{2} + 0,587 \cdot \frac{0,238^3}{3} - 0,0141 = 0,0255; \\ \frac{1}{m_m} &= n\bar{x}_2 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_2^3}{3} + r_1 \left(\bar{x}_2 - \frac{1}{3} \right) - \frac{1}{m_0} = \\ &= 0,344 \cdot 0,469 - (0,413 + 2 \cdot 0,587) \frac{0,469^2}{2} + 0,587 \cdot \frac{0,469^3}{3} + 0,271 \times \\ &\quad \times \left(0,469 - \frac{1}{3} \right) - 0,0141 = 0,0296.\end{aligned}$$

Из двух последних, а также m_0 и m_b вычисленных для прямых оценок изгибающего момента в опорных сечениях выбирается наименьшее

$$m_c = 33,8.$$

.12 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 5.2.7:

если предположить, что опасное сечение располагается в горизонтальной раме,

$$W'_r = \frac{Ql_r}{m_r k_\sigma \sigma_n} = \frac{6230 \cdot 13,2}{29,5 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 11,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \frac{W'_r}{\alpha} = \frac{11,8 \cdot 10^3}{0,5} = 23,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в рамной стойке,

$$W'_c = \frac{Ql_c}{m_c k_\sigma \sigma_n} = \frac{6230 \cdot 15,1}{33,8 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 11,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_r = \alpha W'_c = 0,5 \cdot 11,8 \cdot 10^3 = 5,90 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в горизонтальной раме. Поэтому окончательно

$$W'_r = 11,8 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_c = 23,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.13 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 5.2.8:

для горизонтальной рамы

$$f'_c = \frac{n_r Q}{k_\tau \tau_n} = 0,7 \frac{0,1354 \cdot 6230}{0,75 \cdot 180} 10 = 43,8 \text{ см}^2;$$

для рамной стойки

$$f'_c = \frac{n_c Q}{k_\tau \tau_n} = 0,7 \frac{0,344 \cdot 6230}{0,75 \cdot 180} 10 = 111 \text{ см}^2.$$

5.4 ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРЕБОРОК С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ РАМНЫХ СТОЕК

5.4.1 В данной главе рассматриваются перекрытия поперечных переборок судов всех типов, когда рамных стоек (диафрагм коффердампных переборок) много ($k_c > 5$), и они воспринимают внешнюю нагрузку. Доковая стойка не выделяется.

5.4.2 В расчетах перекрытий ось x направлена по ширине судна, ось y — по высоте переборки.

5.4.3 Указания п.5.3.3 применяются в полной мере.

5.4.4 Согласно 1.5.2 задается соотношение моментов инерции

$$\frac{I_c}{I_r},$$

и вычисляется параметр относительной жесткости перекрытия по формуле (1.4.3-4)

$$\mu = \frac{I_c}{I_r} \left(\frac{l_r}{l_c} \right)^3,$$

где l_c — расчетный пролет рамной стойки (диафрагмы коффердачной переборки);
 l_r — расчетный пролет горизонтальной рамы (платформы коффердачной переборки).

5.4.5 Если используется приближенное соотношение (1.4.3-6), заданное в 5.4.4 позволяет определить соотношение требуемых значений моментов сопротивления балок перекрытия без учета надбавок на износ

$$\alpha = \frac{W'_c}{W'_r}.$$

5.4.6 Согласно 5.1.2 и 5.4.1 для расчета рассматриваемых перекрытий должны использоваться материалы гл. 6.6 применительно к схемам перекрытий, соответствующих несимметричному случаю.

5.4.7 Согласно 1.5.5 требуемый момент сопротивления рамной стойки (диафрагмы коффердачной переборки) без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_c = \frac{Ql_c}{m_c k_\sigma \sigma_n}; \quad (5.4.7-1)$$

$$W'_c = \alpha W'_r \quad (5.4.7-2)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_r — по формулам (5.4.7-3) и (5.4.7-4).

Требуемый момент сопротивления сечения горизонтальной рамы (платформы коффердачной переборки) без учета износа определяется по следующим формулам:

$$W'_r = \frac{Ql_r}{m_r k_\sigma \sigma_n}; \quad (5.4.7-3)$$

$$W'_r = \frac{W'_c}{\alpha}, \quad (5.4.7-4)$$

в зависимости от того, что больше,

где W'_c — по формулам (5.4.7-1) и (5.4.7-2).

Здесь коэффициенты m_c и m_r определяются согласно 5.4.6 с учетом требований 5.1.6, коэффициент k_σ — согласно 5.1.3, коэффициент α — согласно 5.4.4 или 5.4.5; суммарная нагрузка Q — по 5.3.3.

5.4.8 Согласно 1.5.6 требуемая площадь сечения стенок балок перекрытия без учета износа определяется по следующим формулам: для рамной стойки (диафрагмы коффердачной переборки)

$$f'_c = \frac{n_c Q}{k_\tau \tau_n};$$

для горизонтальной рамы (платформы коффердачной переборки)

$$f'_c = \frac{n_r Q}{k_\tau \tau_n};$$

5.4.9 Числовой пример. Коффердачная переборка однопалубного судна.

1 Исходные данные:

— высота перекрытия (расчетный пролет диафрагмы) $l_c = 18,3$ м;

— ширина перекрытия (расчетный пролет платформы) $l_r = 33,0$ м;

— число диафрагм $k_c = 10$;

— число платформ $k_r = 2$;

— расчетное расстояние между диафрагмами

$$a_c = \frac{l_r}{k_c + 1} = \frac{33,0}{10 + 1} = 3,0 \text{ м};$$

— интенсивность расчетной нагрузки согласно 5.1.3

на уровне нижнего конца диафрагмы $p_0 = 183$ кПа;

на уровне верхнего конца диафрагмы $p_l = 0$ кПа;

— коэффициенты допускаемых напряжений согласно 5.1.3

$$k_\sigma = k_\tau = 0,75;$$

— нормативный предел текучести стали согласно п.1.1.4.3 Правил

$$\sigma_n = 315 \text{ МПа}; \tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 315 = 180 \text{ МПа};$$

— суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая диафрагмой, согласно 5.3.3

$$Q = \frac{1}{2} (p_0 + p_l) a_c l_c = \frac{1}{2} 183 \cdot 3,0 \cdot 18,3 = 5020 \text{ кН}$$

и коэффициенты, характеризующие ее составляющие

$$q_p = \frac{2p_l}{p_0 + p_l} = 0;$$

$$q_\tau = \frac{p_0 - p_l}{p_0 + p_l} = 1.$$

.2 Безразмерные параметры. Согласно 5.2.4 и 5.2.5 зададим

$$\alpha = \frac{W'_c}{W'_\Gamma} = 0,5$$

и определим

$$\mu = \alpha^{4/3} \left(\frac{l_\Gamma}{l_c} \right)^3 = 0,5^{4/3} \left(\frac{33,0}{18,3} \right)^3 = 2,33.$$

.3 Схема перекрытия; граничные условия. Поскольку $k_c > 5$, согласно табл. 6.6.2, рассматриваемому перекрытию соответствует схема 2н. Диафрагма не симметрична относительно середины своего пролета, один ее конец согласно 5.1.5 шарнирно оперт (другой упруго заделан с коэффициентом опорной пары $\varkappa^y = 0,5$), что соответствует варианту 2 закрепления концов балки в табл. 6.2.4. Платформы коффердажных переборок по концам считаются упруго заделанными с коэффициентом опорной пары $\varkappa^x = 0,3$.

.4 Коэффициенты влияния диафрагмы от узловых реакций. Для определения составляющих коэффициентов C_{ij} , соответствующих варианту 2 закрепления концов балки в табл. 6.2.4, используются табл. 6.2.5-3 и 6.2.5-5 для $k_y = 2$. Тогда

$$C_{11}^y = A_{11}^y - \varkappa^y B_{11}^y = 0,0988 - 0,5 \cdot 0,0686 = 0,0645;$$

$$C_{12}^y = A_{12}^y - \varkappa^y B_{12}^y = 0,0864 - 0,5 \cdot 0,0549 = 0,0590;$$

$$C_{21}^y = A_{21}^y - \varkappa^y B_{21}^y = 0,0864 - 0,5 \cdot 0,0549 = 0,0590;$$

$$C_{22}^y = A_{22}^y - \varkappa^y B_{22}^y = 0,0988 - 0,5 \cdot 0,0439 = 0,0769.$$

.5 Коэффициенты влияния диафрагмы от внешней нагрузки. Коэффициенты влияния от внешней нагрузки δ_i^y вычисляются по формуле (6.2.3). Их составляющие от нагрузки, распределенной по «треугольнику», как в данном случае, представлены в табл. 6.2.6-3.

$$\delta_1^y = \beta_1^y - \varkappa^y \gamma_1^y = 0,0700 - 0,5 \cdot 0,0494 = 0,0453;$$

$$\delta_2^y = \beta_2^y - \varkappa^y \gamma_2^y = 0,0658 - 0,5 \cdot 0,0395 = 0,0461.$$

.6 Определение вспомогательных параметров. Поскольку $k_c > 5$, согласно табл. 6.6.2, рассматриваемому перекрытию соответствует схема 2н; формулы для определения вспомогательных параметров жесткости приведены в табл. 6.6.3.

$$\begin{aligned}
A_1 &= C_{11}^y + C_{12}^y \frac{\delta_2^y}{\delta_1^y} = 0,0645 + 0,0590 \frac{0,0461}{0,453} = 0,1245; \\
A_2 &= C_{22}^y + C_{21}^y \frac{\delta_1^y}{\delta_2^y} = 0,0769 + 0,0590 \frac{0,453}{0,0461} = 0,1349; \\
u_1 &= \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (k_c + 1) \frac{\mu}{A_1}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (10 + 1) \frac{2,33}{0,1245}} = 2,10; \\
u_2 &= \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (k_c + 1) \frac{\mu}{A_2}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{2} (10 + 1) \frac{2,33}{0,1349}} = 2,05.
\end{aligned}$$

.7 *Вычисление вспомогательных функций и безразмерных узловых реакций для диафрагмы.* Вспомогательные функции и безразмерные узловые реакции, согласно 6.6.5, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\varphi_0(u_1) = -0,127; \quad \varphi_1(u_1) = 0,097;$$

$$\varphi_0(u_2) = -0,123; \quad \varphi_1(u_2) = 0,117.$$

По формуле (6.6.5-2)

$$\varphi_r(u_1) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_1) + \kappa^x \varphi_1(u_1) = (1 - 0,3) \cdot (-0,127) + 0,3 \cdot 0,097 = -0,0595;$$

$$\varphi_r(u_2) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_2) + \kappa^x \varphi_1(u_2) = (1 - 0,3) \cdot (-0,123) + 0,3 \cdot 0,117 = -0,0513.$$

По формуле (6.6.5-1)

$$r_1 = \varphi_r(u_1) \frac{\delta_1^y}{A_1} = -0,0595 \frac{0,0453}{0,1245} = -0,0218;$$

$$r_2 = \varphi_r(u_2) \frac{\delta_2^y}{A_2} = -0,0513 \frac{0,0461}{0,1349} = -0,0175.$$

.8 *Вычисление вспомогательных функций платформы.* Вспомогательные функции по параметрам u_1 и u_2 , согласно 6.6.4, определяются по табл. 6.6.4-2:

$$\chi_0(u_1) = 0,048; \quad \chi_0(u_2) = 0,054;$$

$$\chi_1(u_1) = 0,237; \quad \chi_1(u_2) = 0,254;$$

$$\chi_2(u_1) = 0,360; \quad \chi_2(u_2) = 0,375;$$

$$\mu_0(u_1) = 0,236; \quad \mu_0(u_2) = 0,241;$$

$$\mu_1(u_1) = 0,498; \quad \mu_1(u_2) = 0,510.$$

По формулам (6.6.4-4) — (6.6.4-6)

$$\eta_1 = \frac{\delta_1^y}{\Delta_1} (k_c + 1) = \frac{0,0453}{0,1245} (10 + 1) = 4,00;$$

$$\chi_m(u_1) = (1 - \kappa^x) \chi_0(u_1) + \frac{1}{3} \kappa^x \chi_1(u_1) = (1 - 0,3) \cdot 0,048 + \frac{1}{3} \cdot 0,3 \cdot 0,237 = 0,0576;$$

$$\mu_n(u_1) = (1 - \kappa^x) \mu_0(u_1) + \kappa^x \mu_1(u_1) = (1 - 0,3) \cdot 0,236 + 0,3 \cdot 0,498 = 0,314;$$

$$\eta_2 = \frac{\delta_2^y}{\Delta_2} (k_c + 1) = \frac{0,0461}{0,1349} (10 + 1) = 3,76;$$

$$\chi_m(u_2) = (1 - \kappa^x) \chi_0(u_2) + \frac{1}{3} \kappa^x \chi_1(u_2) = (1 - 0,3) \cdot 0,054 + \frac{1}{3} \cdot 0,3 \cdot 0,254 = 0,0632;$$

$$\mu_n(u_2) = (1 - \kappa^x) \mu_0(u_2) + \kappa^x \mu_1(u_2) = (1 - 0,3) \cdot 0,241 + 0,3 \cdot 0,510 = 0,322.$$

9 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для диафрагмы.

По формулам табл. 6.5.8 при $k_y = 2$ и варианта 2 закрепления концов балки определим коэффициенты m и n .

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_0} &= \left[\frac{q_p}{8} + 2 \frac{q_\tau}{15} - \frac{1}{27} (5r_1 + 4r_2) \right] \kappa^y = \\ &= \left[2 \frac{1}{15} - \frac{1}{27} (5 \cdot 0,0218 + 4 \cdot 0,0175) \right] \cdot 0,5 = 0,0700; \end{aligned}$$

$$\frac{1}{m_l} = 0;$$

$$\begin{aligned} n_d = n &= \frac{q_p}{2} + 2 \frac{q_\tau}{3} - \frac{1}{3} (2r_1 + r_2) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l} = \\ &= 2 \frac{1}{3} - \frac{1}{3} (2 \cdot 0,0218 + 0,0175) + 0,0700 = 0,757; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \frac{1}{2q_\tau} [q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4nq_\tau}] = \\ &= \frac{1}{2} [2 - \sqrt{2^2 - 4 \cdot 0,757}] = 0,507; \end{aligned}$$

$$\text{Принимаем } \bar{x}_1 = \frac{1}{3}.$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \frac{1}{2q_\tau} [q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4(n + r_1)q_\tau}] = \\ &= \frac{1}{2} [2 - \sqrt{2^2 - 4(0,757 - 0,0218)}] = 0,485; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{m_m} &= n\bar{x}_1 - (q_p + 2q_\tau) \frac{\bar{x}_1^2}{2} + q_\tau \frac{\bar{x}_1^3}{3} - \frac{1}{m_0} = \\
&= 0,757 \cdot 0,333 - 2 \frac{0,333^2}{2} + \frac{0,333^3}{3} - 0,0700 = 0,0838; \\
\frac{1}{m_m} &= n\bar{x}_2 - (q_p + 2q_\tau) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_\tau \frac{\bar{x}_2^3}{3} + r_1 \left(\bar{x}_2 - \frac{1}{3} \right) - \frac{1}{m_0} = \\
&= 0,757 \cdot 0,485 - 2 \frac{0,485^2}{2} + \frac{0,485^3}{3} - 0,0218 \left(0,485 - \frac{1}{3} \right) - 0,0700 = 0,0967.
\end{aligned}$$

Из найденных значений m_0 и m_m выбирается наименьшее значение по абсолютной величине

$$m_c = 10,35.$$

.10 Коэффициенты момента и перерезывающей силы для платформ.
Значение коэффициентов момента и перерезывающей силы определяется по формулам (6.6.4-1) и (6.6.4-2):

для нижней горизонтальной рамы

$$\begin{aligned}
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{8} \eta_1 \chi_m(u_1) = \frac{1}{8} \cdot 4,00 \cdot 0,0576 = 0,0288; \\
\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{12} \eta_1 \chi^x \chi_2(u_1) = \frac{1}{12} \cdot 4,00 \cdot 0,3 \cdot 0,360 = 0,0360;
\end{aligned}$$

для верхней горизонтальной рамы

$$\begin{aligned}
\frac{1}{m_m} &= \frac{1}{8} \eta_2 \chi_m(u_1) = \frac{1}{8} \cdot 3,76 \cdot 0,063 = 0,0296; \\
\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{12} \eta_2 \chi^x \chi_2(u_1) = \frac{1}{12} \cdot 3,76 \cdot 0,3 \cdot 0,375 = 0,0352.
\end{aligned}$$

Из полученного выбирается наименьшее значение m , и

$$m_\tau = 27,8.$$

По формуле (6.6.4-3)

для нижней горизонтальной рамы

$$n = \frac{1}{2} \eta_1 \mu_n(u_1) = \frac{1}{2} \cdot 4,00 \cdot 0,314 = 0,629;$$

для верхней горизонтальной рамы

$$n = \frac{1}{2} \eta_2 \mu_n(u_1) = \frac{1}{2} \cdot 3,76 \cdot 0,322 = 0,605.$$

Из полученного выбирается большее значение n , и

$$n_\tau = 0,629.$$

.11 Требуемые значения моментов сопротивления сечения балок перекрытия без учета износа согласно 5.4.7:

если предположить, что опасное сечение располагается в платформе

$$W'_r = \frac{Ql_r}{m_r k_\sigma \sigma_n} = \frac{5020 \cdot 33,2}{27,8 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 25,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_c = \alpha W'_r = 0,5 \cdot 25,3 \cdot 10^3 = 12,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

если предположить, что опасное сечение располагается в диафрагме

$$W'_c = \frac{Ql_c}{m_c k_\sigma \sigma_n} = \frac{5020 \cdot 18,3}{10,35 \cdot 0,75 \cdot 315} 10^3 = 37,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

$$W'_r = \frac{W'_c}{\alpha} = \frac{37,6 \cdot 10^3}{0,5} 10^3 = 75,2 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Как видно из представленного, к наиболее жестким ограничениям приводит предположение, что опасное сечение располагается в диафрагме. Поэтому окончательно

$$W'_r = 75,2 \cdot 10^3 \text{ см}^3; W'_c = 37,6 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

.12 Требуемые значения площади сечения стенок балок перекрытия без учета износа согласно 5.2.8:

для горизонтальной рамы

$$f'_c = \frac{n_r Q}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,757 \cdot 5020}{0,75 \cdot 180} 10 = 281 \text{ см}^2;$$

для рамной стойки

$$f'_c = \frac{n_c Q}{k_\tau \tau_n} = \frac{0,629 \cdot 5020}{0,75 \cdot 180} 10 = 234 \text{ см}^2.$$

6 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРЕКРЫТИЙ

6.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

6.1.1 В настоящем разделе помещены материалы, позволяющие выполнить расчет регулярных перекрытий, согласно 1.4.1, с малым числом узловых точек, с большим числом балок одного направления.

6.1.2 Перекрытием с малым числом узловых точек считается перекрытие, у которого число балок в каждом направлении не превышает пяти.

Перекрытием с большим числом балок одного направления считается перекрытие, у которого таких балок более пяти.

У перекрытия с большим числом балок одного направления эти балки считаются балками главного направления; балки другого направления считаются перекрестными связями. Внешнюю нагрузку воспринимают только балки главного направления.

6.1.3 Расчет перекрытий с малым числом узловых точек выполняется методом приравнивания прогибов балок разных направлений в узловых точках (см. 1.4.1). Реализация этого метода требует последовательного выполнения следующих этапов расчета:

определение коэффициентов влияния (см. 6.2);

составление системы уравнений для определения узловых реакций (см. 6.3);

решение системы уравнений (см. 6.4);

определение наибольших изгибающих моментов и перерезывающих сил в наиболее нагруженных балках перекрытия (см. 6.5).

6.1.4 Расчет перекрытий с большим числом балок одного направления дополнительно использует следующие допущения:

узловые реакции на перекрестных связях могут быть заменены распределенными реактивными усилиями;

формы прогибов всех балок главного направления геометрически подобны и совпадают с формой прогиба такой балки в случае, когда она нагружена только внешней нагрузкой, а узловые реакции отсутствуют.

Реализация этого метода требует последовательного выполнения следующих этапов расчета (см. 6.6):

определение параметров жесткости перекрестных связей как балок на сплошном упругом основании с использованием коэффициентов влияния, указанных в 6.1.3;

расчет перекрестных связей как балок на сплошном упругом основании с определением для них наибольших изгибающих моментов и перерезывающих сил, а также узловых реакций;

определение наибольших изгибающих моментов и перерезывающих сил в наиболее нагруженных балках главного направления от действия внешней нагрузки и узловых реакций согласно указанному в п. 6.1.3.

6.1.5 Концы балок перекрытия, если не оговорено иное, считаются упруго заделанными на опорном контуре перекрытия, характеризуемыми коэффициентами опорной пары. Если в исходных данных расчета концы балки имеют разные значения коэффициента опорной пары, при определении узловых реакций, наибольших изгибающих моментов в пролете и наибольших перерезывающих сил используется среднее значение коэффициента опорной пары.

6.1.6 Материалы настоящего раздела непосредственно не связаны с рассмотрением определенных конструкций и предназначены для расчета перекрытий, регламентируемых в разделах 2 — 5. Они также могут быть использованы для расчета перекрытий, расчетные схемы которых в упомянутых разделах не рассмотрены.

6.2 КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ

6.2.1 В данной главе представлены два типа коэффициентов влияния для балок:

C_{ij} — коэффициент влияния от узловой реакции;

δ_i — коэффициент влияния от внешней нагрузки.

6.2.2 Коэффициентом влияния балки от узловой реакции C_{ij} называется безразмерный параметр, характеризующий прогиб балки в i -ом сечении w_i от действия сосредоточенной силы R_j , приложенной в ее j -ом сечении

$$w_i = \frac{R_j l^3}{6EI} C_{ij}; \quad (6.2.1)$$

$$C_{ij} = A_{ij} - \kappa B_{ij}, \quad (6.2.2)$$

где A_{ij} — составляющая коэффициента C_{ij} для балки, шарнирно опертой по концам, если не оговорено иное, согласно 6.2.5;

B_{ij} — составляющая коэффициента C_{ij} , учитывающая влияние упругих заделок концов балки, согласно 6.2.5.

6.2.3 Коэффициентом влияния балки от внешней нагрузки δ_i называется безразмерный параметр, характеризующий прогиб балки в i -ом сечении w_i от действия внешней нагрузки Q заданной формы.

$$w_i = \frac{Ql^3}{6EI} \delta_i ;$$

$$\delta_i = \beta_i - \kappa \gamma_i , \quad (6.2.3)$$

где β_i — составляющая коэффициента δ_i для балки шарнирно опертой по концам, если не оговорено иное, согласно 6.2.6;

γ_i — составляющая коэффициента δ_i , учитывающая влияние упругих заделок концов балки, согласно 6.2.6.

6.2.4 Коэффициенты влияния в данной главе определены для сечений балки, отстоящих друг от друга на одинаковых расстояниях в соответствии с размещением в ее пределах узлов перекрытия согласно 1.3.5 и 1.4.1. Принятые схемы нумерации узлов (сечений) в пределах балки в зависимости от их числа k приведены в табл. 6.2.4 для трех случаев — симметричного, несимметричного и особого.

В симметричном случае значения узловых реакций, расположенных на одинаковом расстоянии от середины пролета балки, одинаковы; оба конца балки имеют одинаковую упругую заделку; нумерация узлов начинается от середины пролета балки.

В несимметричном случае каких-либо ограничений на величину узловых реакций не накладывается и рассматриваются два варианта условий закрепления концов балки:

вариант 1 — оба конца имеют одинаковую упругую заделку;

вариант 2 — один конец балки упруго заделан, другой — свободно оперт; нумерация узлов начинается от упруго заделанного конца балки.

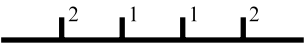
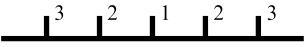
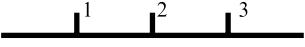
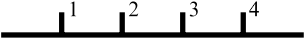
В особом случае один конец балки имеет жесткую заделку, другой — упругую заделку. Число узлов в пределах балки $k=1$.

6.2.5 Значения составляющих A_{ij} и B_{ij} коэффициентов влияния балки от узловой реакции C_{ij} согласно 6.2.2 для нумерации узлов согласно 6.2.4 и для указанных там симметричного и несимметричного случаев представлены в табл. 6.2.5-1 — 6.2.5-5. Для особого случая, согласно 6.2.4,

$$A_{11} = 0,0547; B_{11} = 0,0234.$$

Таблица 6.2.4

Схемы нумерации узлов балки при определении коэффициентов влияния

Случай	Схема закрепления концов	k	Схема нумерации узлов
Симметричный		1	
		2	
		3	
		4	
		5	
Несимметричный	Вариант 1	1	
	Вариант 2	2	
		3	
		4	
Особый		1	

6.2.6 Значения составляющих β_i и γ_i коэффициентов влияния балки от внешней нагрузки δ_i согласно 6.2.2 для нумерации узлов согласно 6.2.4 и для указанного там симметричного и несимметричного случаев представлены в табл. 6.2.6-1 и 6.2.6-2, если внешняя нагрузка распределена равномерно, и в табл.6.2.6-3, если внешняя нагрузка распределена по «треугольнику» (рис. 6.2.6).

Для особого случая, согласно 6.2.4, если внешняя нагрузка распределена равномерно,

$$\beta_1 = 0,0313; \gamma_1 = 0,0156.$$

Таблица 6.2.5-1

Значения коэффициента A_{ij} Симметричный случай

k	j	i		
		1	2	3
1	1	0,1250	—	—
2	1	0,1852	—	—
3	1	0,1250	0,0859	—
	2	0,1719	0,1250	—
4	1	0,2240	0,1360	—
	2	0,1360	0,0880	—
5	1	0,1250	0,1065	0,0602
	2	0,2130	0,1852	0,1065
	3	0,1204	0,1065	0,0648

Таблица 6.2.5-2

Значения коэффициента B_{ij} Симметричный случай

k	j	i		
		1	2	3
1	1	0,0938	—	—
2	1	0,1481	—	—
3	1	0,0938	0,0703	—
	2	0,1406	0,1055	—
4	1	0,1728	0,1152	—
	2	0,1152	0,0768	—
5	1	0,0938	0,0833	0,0521
	2	0,1667	0,1481	0,0926
	3	0,1042	0,0926	0,0579

Таблица 6.2.5-3

Значения коэффициента A_{ij} . Несимметричный случай

k	j	i			
		1	2	3	4
1	1	0,1250	—	—	—
2	1	0,0988	0,0864	—	—
	2	0,0864	0,0988	—	—
3	1	0,0703	0,0859	0,0547	—
	2	0,0859	0,1250	0,0859	—
	3	0,0547	0,0859	0,0703	—
4	1	0,0512	0,0720	0,0640	0,0368
	2	0,0720	0,1152	0,1088	0,0640
	3	0,0640	0,1088	0,1152	0,0720
	4	0,0368	0,0640	0,0720	0,0512

Таблица 6.2.5-4

Значения коэффициента B_{ij} . Несимметричный случай; вариант 1

k	j	i			
		1	2	3	4
1	1	0,0938	—	—	—
2	1	0,0768	0,0713	—	—
	2	0,0713	0,0768	—	—
3	1	0,0571	0,0703	0,0483	—
	2	0,0703	0,0938	0,0703	—
	3	0,0483	0,0703	0,0571	—
4	1	0,0430	0,0599	0,0553	0,0338
	2	0,0599	0,0876	0,0852	0,0553
	3	0,0553	0,0852	0,0876	0,0599
	4	0,0338	0,0553	0,0599	0,0430

Таблица 6.2.5-5

Значения коэффициента B_{ij} , Несимметричный случай; вариант 2

k	j	i			
		1	2	3	4
1	1	0,0703	—	—	—
2	1	0,0686	0,0549	—	—
	2	0,0549	0,0439	—	—
3	1	0,0538	0,0615	0,0385	—
	2	0,0615	0,0703	0,0439	—
	3	0,0385	0,0439	0,0275	—
4	1	0,0415	0,0553	0,0484	0,0276
	2	0,0553	0,0737	0,0645	0,0369
	3	0,0484	0,0645	0,0564	0,0323
	4	0,0276	0,0369	0,0323	0,0184

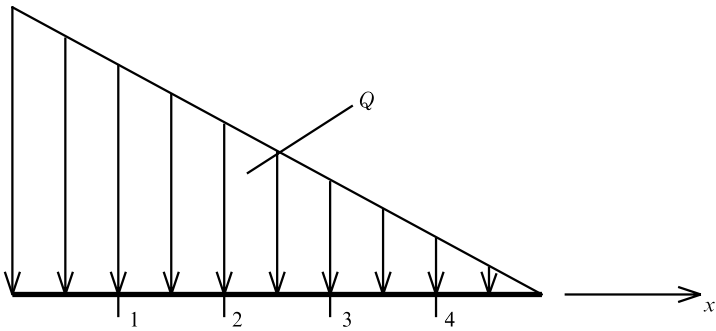


Рис. 6.2.6

Таблица 6.2.6-1

Значения коэффициентов β_i и γ_i от равномерно распределенной нагрузки.
Симметричный случай

Коэффици- циент	k	i		
		1	2	3
β_i	1	0,0781	—	—
	2	0,0679	—	—
	3	0,0781	0,0557	—
	4	0,0744	0,0464	—
	5	0,0781	0,0679	0,0395
γ_i	1	0,0625	—	—
	2	0,0556	—	—
	3	0,0625	0,0469	—
	4	0,0600	0,0400	—
	5	0,0625	0,0556	0,0347

Таблица 6.2.6-2

Значения коэффициентов β_i и γ_i от равномерно распределенной нагрузки.
Несимметричный случай

Коэффици- циент	Вариант закрепления концов	k	i			
			1	2	3	4
β_i	—	1	0,0781	—	—	—
		2	0,0679	0,0679	—	—
		3	0,0557	0,0781	0,0557	—
		4	0,0464	0,0744	0,0744	0,0464
γ_i	1	1	0,0625	—	—	—
		2	0,0556	0,0556	—	—
		3	0,0469	0,0625	0,0469	—
		4	0,0400	0,0600	0,0600	0,0400
	2	1	0,0469	—	—	—
		2	0,0463	0,0370	—	—
		3	0,0410	0,0469	0,0293	—
		4	0,0360	0,0480	0,0420	0,0240

Таблица 6.2.6-3

Значения коэффициентов β_i и γ_i от нагрузки, распределенной по «треугольнику»

Коэффици- циент	Вариант закрепления концов	k	i			
			1	2	3	4
β_i	—	1	0,0781	—	—	—
		2	0,0700	0,0658	—	—
		3	0,0581	0,0784	0,0532	—
		4	0,0488	0,0758	0,0730	0,0440
γ_i	1	1	0,0625	—	—	—
		2	0,0568	0,0543	—	—
		3	0,0484	0,0625	0,0453	—
		4	0,0416	0,0608	0,0592	0,0384
	2	1	0,0500	—	—	—
		2	0,0494	0,0395	—	—
		3	0,0438	0,0500	0,0313	—
		4	0,0384	0,0512	0,0448	0,0256

6.3 СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЗЛОВЫХ РЕАКЦИЙ

6.3.1 Система уравнений для определения узловых реакций составляется в виде

$$a_{1i}r_1 + a_{2i}r_2 + \dots + a_{ji}r_j + \dots + a_{\omega i}r_{\omega} = b_i;$$

$$i = 1, 2, \dots, \omega; j = 1, 2, \dots, \omega,$$

где r_j — безразмерные значения узловых реакций, согласно 6.3.2, определяемые из решения данной системы уравнений;

a_{ji} — коэффициенты при неизвестных системы уравнений, определяемые согласно 6.3.4;

b_i — коэффициенты — свободные члены системы уравнений, определяемые согласно 6.3.5;

ω — число узлов перекрытия, в которых необходимо вычислить узловые реакции с учетом условий симметрии конструкции и загрузки перекрытия (расчетное число узлов перекрытия), т.е. число неизвестных в системе уравнений и соответственно число этих уравнений.

Нумерация узлов перекрытия, соответствующая нумерации неизвестных в системе уравнений, для всех рассматриваемых схем перекрытий представлена в 6.3.3.

6.3.2 Безразмерное значение узловой реакции r_j определяется по формуле (1.4.3-1),

$$r_j = \frac{R_j}{Q},$$

где Q — суммарная внешняя нагрузка, воспринимаемая балкой, зависит от направления этой балки и формы нагрузки.

Если перекрытие загружено равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью p :

в случае, когда загружены балки, параллельные оси y ,

$$Q = Q^y = p a_x l_y, \quad (6.3.2-1)$$

где a_x — расстояние между смежными балками в направлении оси x ;
 l_y — длина пролета балок, параллельных оси y ;

в случае, когда загружены балки, параллельные оси x ,

$$Q = Q^x = p a_y l_x, \quad (6.3.2-2)$$

где a_y — расстояние между смежными балками.

Если перекрытие загружено распределенной нагрузкой, изменяющейся вдоль оси x по линейному закону (распределенной по «трапеции»):

в случае, когда загружены балки, параллельные оси y ,

$$Q = Q_1^y = p_1 a_x l_y, \quad (6.3.2-3)$$

где p_1 — интенсивность внешней нагрузки на уровне оси 1-ой из указанных балок. За такую балку принимается балка перекрытия, у которой величина p наибольшая. В этом случае нагрузка на загруженных балках считается распределенной равномерно. Различие ее интенсивности у разных загруженных балок учитывается при определении коэффициентов b_i в системе уравнений по 6.3.1 с помощью множителей q_i (см. 6.3.4):

$$q_i = \frac{p_i}{p_1}, \quad (6.3.2-4)$$

где p_i — интенсивность внешней нагрузки на уровне оси i -ой загруженной балки;

в случае, когда загружены балки, параллельные оси x

$$Q = Q_T^x = \frac{1}{2} (p_0 + p_l) a_y l_x, \quad (6.3.2-5)$$

где p_0 и p_l — интенсивность внешней нагрузки у концов указанных балок (рис. 6.3.2, где нумерация узлов по длине балки соответствует принятой в табл. 6.2.4).

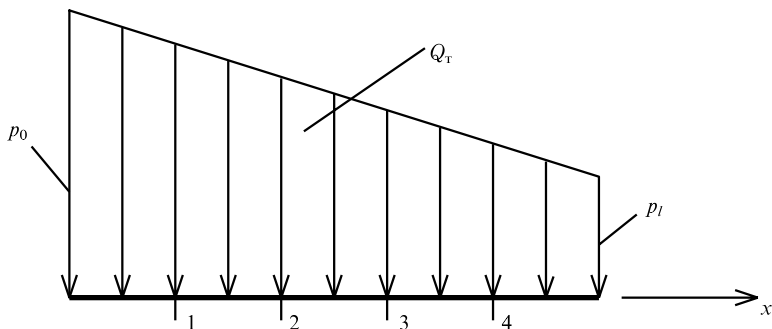


Рис. 6.3.2

6.3.3 Система нумерации узлов перекрытий, принятая при составлении системы уравнений для узловых реакций по 6.3.1 представлена на схемах в табл. 6.3.3. Все схемы считаются симметричными относительно оси x (Она показана на рисунках таблицы). Ось y перпендикулярна плоскости перекрытия и проходит через середину пролета балок, параллельных оси x .

В таблице представлены два случая нумерации узлов:

когда схема перекрытия симметрична относительно оси y ;

когда схема перекрытия не симметрична относительно оси y (для этого случая номера узлов на схемах указаны в скобках).

Несимметрия схемы относительно оси y рассматривается как следствие неравномерного распределения внешней нагрузки на перекрытие вдоль оси x (см. 6.3.2), а также разных условий закрепления концов балок, параллельных оси x (см. особый случай в 6.2.4).

Каждой схеме перекрытия в таблице присвоен собственный индекс, который используется в Методике во всей системе ссылок на материалы данного раздела. Индекс состоит из двух целых чисел разделенных точкой, и буквы:

первое число соответствует k_y — числу балок перекрытия, параллельных оси x (числу узлов в балках, параллельных оси y);

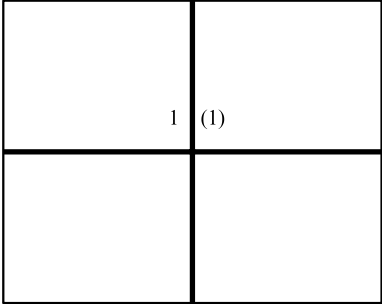
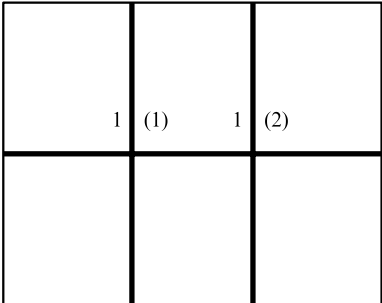
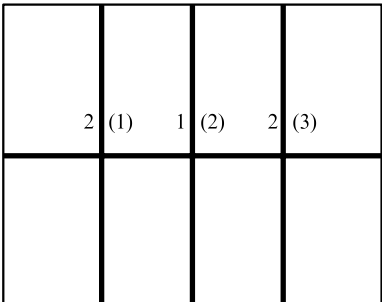
второе число соответствует k_x — числу балок перекрытия, параллельных оси y (числу узлов в балках, параллельных оси x);

буква «с» соответствует схемам перекрытий, симметричных относительно оси y ;

буква «н» соответствует схемам перекрытий, не симметричных относительно оси y .

Таблица 6.3.3

Схемы нумерации узлов перекрытия при определении узловых реакций

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.
	1	1	1.1с 1.1н	1 1	(см. п. 6.3.4) (см. п. 6.3.4)
	1	2	1.2с 1.2н	1 2	(см. п. 6.3.4) 6.3.4-1
	1	3	1.3с 1.3н	2 3	6.3.4-1 6.3.4-4

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.																								
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td><td>1</td><td>(3)</td><td>2</td><td>(4)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$						2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)									1	4	1.4с	2	6.3.4-1			
2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)																						
			1.4н	4	6.3.4-6																								
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>2</td><td></td><td>1</td><td></td><td>2</td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$							3		2		1		2		3										1	5	1.5с	3	6.3.4-4
3		2		1		2		3																					
			—	—																									
<table><tr><td></td><td></td><td>1</td><td>(1)</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td>(1)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$			1	(1)			1	(1)					2	1	2.1с	1	(см. п. 6.3.4)												
		1	(1)																										
		1	(1)																										
			2.1н	1	(см. п. 6.3.4)																								

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.												
<table><tr><td>1 (1)</td><td>1 (2)</td></tr><tr><td>1 (1)</td><td>1 (2)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	1 (1)	1 (2)	1 (1)	1 (2)			2	2	2.2с 2.2н	1 2	(см. п. 6.3.4) 6.3.4-1						
1 (1)	1 (2)																
1 (1)	1 (2)																
<table><tr><td>2 (1)</td><td>1 (2)</td><td>2 (3)</td></tr><tr><td>2 (1)</td><td>1 (2)</td><td>2 (3)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2 (1)	1 (2)	2 (3)	2 (1)	1 (2)	2 (3)				2	3	2.3с 2.3н	2 3	6.3.4-1 6.3.4-4			
2 (1)	1 (2)	2 (3)															
2 (1)	1 (2)	2 (3)															
<table><tr><td>2 (1)</td><td>1 (2)</td><td>1 (3)</td><td>2 (4)</td></tr><tr><td>2 (1)</td><td>1 (2)</td><td>1 (3)</td><td>2 (4)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2 (1)	1 (2)	1 (3)	2 (4)	2 (1)	1 (2)	1 (3)	2 (4)					2	4	2.4с 2.4н	2 4	6.3.4-1 6.3.4-4
2 (1)	1 (2)	1 (3)	2 (4)														
2 (1)	1 (2)	1 (3)	2 (4)														

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.															
<table><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	3	2	1	2	3	3	2	1	2	3						2	5	2.5с —	3 —	6.3.4-4 —
3	2	1	2	3																
3	2	1	2	3																
<table><tr><td>2 (2)</td></tr><tr><td>1 (1)</td></tr><tr><td>2 (2)</td></tr><tr><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2 (2)	1 (1)	2 (2)		3	1	3.1с 3.1н	2 2	6.3.4-2 6.3.4-2											
2 (2)																				
1 (1)																				
2 (2)																				
<table><tr><td>2 (3)</td><td>2 (4)</td></tr><tr><td>1 (1)</td><td>1 (2)</td></tr><tr><td>2 (3)</td><td>2 (4)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2 (3)	2 (4)	1 (1)	1 (2)	2 (3)	2 (4)			3	2	3.2с 3.2н	2 4	6.3.4-2 6.3.4-7							
2 (3)	2 (4)																			
1 (1)	1 (2)																			
2 (3)	2 (4)																			

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.																																
<table><tr><td>4</td><td>(4)</td><td>3</td><td>(5)</td><td>4</td><td>(6)</td></tr><tr><td>2</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td><td>2</td><td>(3)</td></tr><tr><td>4</td><td>(4)</td><td>3</td><td>(5)</td><td>4</td><td>(6)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	4	(4)	3	(5)	4	(6)	2	(1)	1	(2)	2	(3)	4	(4)	3	(5)	4	(6)							3	3	3.3с 3.3н	4 6	6.3.4-7 6.3.4-9								
4	(4)	3	(5)	4	(6)																																
2	(1)	1	(2)	2	(3)																																
4	(4)	3	(5)	4	(6)																																
<table><tr><td>4</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td><td>3</td><td>(7)</td><td>4</td><td>(8)</td></tr><tr><td>2</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td><td>1</td><td>(3)</td><td>2</td><td>(4)</td></tr><tr><td>4</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td><td>3</td><td>(7)</td><td>4</td><td>(8)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)	2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)	4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)									3	4	3.4с 3.4н	4 8	6.3.4-7 6.3.4-12
4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)																														
2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)																														
4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)																														
<table><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	6	5	4	5	6		3	2	1	2	3		6	5	4	5	6								3	5	3.5с —	6 —	6.3.4-9 —								
6	5	4	5	6																																	
3	2	1	2	3																																	
6	5	4	5	6																																	

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ij} № табл.																				
<table><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2		1		1		2				4	1	4.1с —	2 —	6.3.4-3 —										
2																									
1																									
1																									
2																									
<table><tr><td>2</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	2	2		1	1		1	1		2	2					4	2	4.2с —	2 —	6.3.4-3 —					
2	2																								
1	1																								
1	1																								
2	2																								
<table><tr><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	4	3	4		2	1	2		2	1	2		4	3	4						4	3	4.3с —	4 —	6.3.4-8 —
4	3	4																							
2	1	2																							
2	1	2																							
4	3	4																							

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ij} № табл.																														
<table><tr><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	4	3	3	4		2	1	1	2		2	1	1	2		4	3	3	4							4	4	4.4с —	4 —	6.3.4-8 —					
4	3	3	4																																
2	1	1	2																																
2	1	1	2																																
4	3	3	4																																
<table><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	6	5	4	5	6		3	2	1	2	3		3	2	1	2	3		6	5	4	5	6								4	5	4.5с —	6 —	6.3.4-10 —
6	5	4	5	6																															
3	2	1	2	3																															
3	2	1	2	3																															
6	5	4	5	6																															
<table><tr><td>3</td><td>(3)</td></tr><tr><td>2</td><td>(2)</td></tr><tr><td>1</td><td>(1)</td></tr><tr><td>2</td><td>(2)</td></tr><tr><td>3</td><td>(3)</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	3	(3)	2	(2)	1	(1)	2	(2)	3	(3)			5	1	5.1с 5.1н	3 3	6.3.4-5 6.3.4-5																		
3	(3)																																		
2	(2)																																		
1	(1)																																		
2	(2)																																		
3	(3)																																		

Продолжение табл. 6.3.3

Схема	k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ij} № табл.																																																
<table><tr><td>3</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td></tr><tr><td>2</td><td>(3)</td><td>2</td><td>(4)</td></tr><tr><td>1</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td></tr><tr><td>2</td><td>(3)</td><td>2</td><td>(4)</td></tr><tr><td>3</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	3	(5)	3	(6)	2	(3)	2	(4)	1	(1)	1	(2)	2	(3)	2	(4)	3	(5)	3	(6)					5	2	5.2с 5.2н	3 6	6.3.4-5 6.3.4-11																								
3	(5)	3	(6)																																																		
2	(3)	2	(4)																																																		
1	(1)	1	(2)																																																		
2	(3)	2	(4)																																																		
3	(5)	3	(6)																																																		
<table><tr><td>6</td><td>(7)</td><td>5</td><td>(8)</td><td>6</td><td>(9)</td></tr><tr><td>4</td><td>(4)</td><td>3</td><td>(5)</td><td>4</td><td>(6)</td></tr><tr><td>2</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td><td>2</td><td>(3)</td></tr><tr><td>4</td><td>(4)</td><td>3</td><td>(5)</td><td>4</td><td>(6)</td></tr><tr><td>6</td><td>(7)</td><td>5</td><td>(8)</td><td>6</td><td>(9)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	6	(7)	5	(8)	6	(9)	4	(4)	3	(5)	4	(6)	2	(1)	1	(2)	2	(3)	4	(4)	3	(5)	4	(6)	6	(7)	5	(8)	6	(9)							5	3	5.3с 5.3н	6 9	6.3.4-11 6.3.4-13												
6	(7)	5	(8)	6	(9)																																																
4	(4)	3	(5)	4	(6)																																																
2	(1)	1	(2)	2	(3)																																																
4	(4)	3	(5)	4	(6)																																																
6	(7)	5	(8)	6	(9)																																																
<table><tr><td>6</td><td>(9)</td><td>5</td><td>(10)</td><td>5</td><td>(11)</td><td>6</td><td>(12)</td></tr><tr><td>4</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td><td>3</td><td>(7)</td><td>4</td><td>(8)</td></tr><tr><td>2</td><td>(1)</td><td>1</td><td>(2)</td><td>1</td><td>(3)</td><td>2</td><td>(4)</td></tr><tr><td>4</td><td>(5)</td><td>3</td><td>(6)</td><td>3</td><td>(7)</td><td>4</td><td>(8)</td></tr><tr><td>6</td><td>(9)</td><td>5</td><td>(10)</td><td>5</td><td>(11)</td><td>6</td><td>(12)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$	6	(9)	5	(10)	5	(11)	6	(12)	4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)	2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)	4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)	6	(9)	5	(10)	5	(11)	6	(12)									5	4	5.4с 5.4н	6 12	6.3.4-11 6.3.4-14
6	(9)	5	(10)	5	(11)	6	(12)																																														
4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)																																														
2	(1)	1	(2)	1	(3)	2	(4)																																														
4	(5)	3	(6)	3	(7)	4	(8)																																														
6	(9)	5	(10)	5	(11)	6	(12)																																														

Схема						k_y	k_x	Индекс	ω	a_{ji} № табл.																																				
<table><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td></tr><tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $\xrightarrow{x}$						9	8	7	8	9		6	5	4	5	6		3	2	1	2	3		6	5	4	5	6		9	8	7	8	9								5	5	5.5с	9	6.3.4-13
9	8	7	8	9																																										
6	5	4	5	6																																										
3	2	1	2	3																																										
6	5	4	5	6																																										
9	8	7	8	9																																										
								—	—	—																																				

В таблице для каждой схемы приведено расчетное число узлов ω (см. в 6.3.1), и в последней колонке — номер таблицы, в которой приведены формулы для определения коэффициентов a_{ji} при неизвестных системы уравнений по 6.3.1. Исключение в последних составляет случай $\omega = 1$; для него формула для a_{ji} приведена в тексте 6.3.4.

6.3.4 Формулы для определения коэффициентов a_{ji} при неизвестных системы уравнений по 6.3.1 представлены в табл. 6.3.4-1 — 6.3.4-14. В названии каждой таблицы перечислены индексы схем перекрытий согласно 6.3.3, для которых должны быть применены помещенные в ней формулы. В головке таблицы приведены обозначения неизвестных r_j , которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной колонке. В первой колонке таблицы приведены номера уравнений, которым принадлежат коэффициенты a_{ji} в данной строке.

Фигурирующие в таблицах коэффициенты влияния балок от узловых реакций C_{ij} , определяемые согласно 6.2, имеют дополнительный надстрочный индекс x или y , обозначающий принадлежность коэффициента балке, параллельной осям x или y . Подстрочные индексы в C_{ij} соответствуют нумерации узлов в пределах каждой балки, принятой в 6.2.4, в зависимости от числа узлов в пределах этой балки k_x или k_y , (последние для каждой схемы перекрытия указаны в табл. 6.3.3), симметрии

или несимметрии значений узловых реакций относительно середины пролета балки (это также следует из схем перекрытий в табл. 6.3.3).

Помимо параметра относительной жесткости балок перекрытия μ согласно 1.4.3 для случаев, когда балка, совпадающая с осью x , усилена, дополнительно используется параметр

$$\mu_0 = \frac{I^y}{I_0^x} \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^3, \quad (6.3.4)$$

где I_0^x — момент инерции усиленной балки, совпадающей с осью x перекрытия.

Для схем 1.1с, 1.1н, 1.2с, 1.2н, 2.1с, 2.1н, 2.2с

$$a_{11} = \mu C_{11}^x + C_{11}^y.$$

Таблица 6.3.4-1
Коэффициенты a_{ji} для схем
1.2н, 1.3с, 1.4с, 2.2н, 2.3с, 2.4с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	μC_{12}^x
2	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{11}^y$

Таблица 6.3.4-2
Коэффициенты a_{ji} для схем
3.1с, 3.1н, 3.2с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	C_{12}^y
2	C_{21}^y	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-3
Коэффициенты a_{ji} для схем
4.1с, 4.2с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных	
	r_1	r_2
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	C_{12}^y
2	C_{21}^y	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-4
Коэффициенты a_{ji} для схем
1.3с, 1.5с, 2.3н, 2.5с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных		
	r_1	r_2	r_3
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x
2	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{11}^y$	μC_{23}^x
3	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{11}^y$

Таблица 6.3.4-5
Коэффициенты a_{ji} для схем
5.1с, 5.1н, 5.2с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных		
	r_1	r_2	r_3
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	C_{12}^y	C_{13}^y
2	C_{21}^y	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	C_{23}^y
3	C_{31}^y	C_{32}^y	$\mu C_{11}^x + C_{33}^y$

Таблица 6.3.4-6

Коэффициенты a_{ji} для схем 1.4н, 2.4н

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1	r_2	r_3	r_4
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	μC_{14}^x
2	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{11}^y$	μC_{23}^x	μC_{24}^x
3	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{11}^y$	μC_{34}^x
4	μC_{41}^x	μC_{42}^x	μC_{43}^x	$\mu C_{44}^x + C_{11}^y$

Таблица 6.3.4-7

Коэффициенты a_{ji} для схем 3.2н, 3.3с, 3.4с

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1	r_2	r_3	r_4
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	C_{12}^y	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	0	C_{12}^y
3	C_{21}^y	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x
4	0	C_{21}^y	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-8

Коэффициенты a_{ji} для схем 4.3с, 4.4с

№ уравнения	Обозначение неизвестных			
	r_1	r_2	r_3	r_4
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	μC_{12}^x	C_{12}^y	0
2	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{11}^y$	0	C_{12}^y
3	C_{21}^y	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x
4	0	C_{21}^y	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-9

Коэффициенты a_{ji} для схем 3.3с, 3.5с

№ уравнения	Обозначение неизвестных					
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	$\mu_0 C_{13}^x$	C_{12}^y	0	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{23}^x$	0	C_{12}^y	0
3	$\mu_0 C_{31}^x$	$\mu_0 C_{32}^x$	$\mu_0 C_{33}^x + C_{11}^y$	0	0	C_{12}^y
4	C_{21}^y	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x
5	0	C_{21}^y	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	μC_{23}^x
6	0	0	C_{21}^y	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-10

Коэффициенты a_{ji} для схемы 4.5с

№ уравнения	Обозначение неизвестных					
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
1	$\mu C_{11}^x + C_{11}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	C_{12}^y	0	0
2	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{11}^y$	μC_{23}^x	0	C_{12}^y	0
3	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{11}^y$	0	0	C_{12}^y
4	C_{21}^y	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x
5	0	C_{21}^y	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	μC_{23}^x
6	0	0	C_{21}^y	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{22}^y$

Таблица 6.3.4-11

Коэффициенты a_{ji} для схем 5.2н, 5.3с, 5.4с

№ уравнения	Обозначение неизвестных					
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	C_{12}^y	0	C_{13}^y	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	0	C_{12}^y	0	C_{13}^y
3	C_{21}^y	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	C_{23}^y	0
4	0	C_{21}^y	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	0	C_{23}^y
5	C_{31}^y	0	C_{32}^y	0	$\mu C_{11}^x + C_{33}^y$	μC_{12}^x
6	0	C_{31}^y	0	C_{32}^y	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{33}^y$

Таблица 6.3.4-12

Коэффициенты a_{ji} для схемы 3.4н

№ уравнения	Обозначение неизвестных							
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	$\mu_0 C_{13}^x$	$\mu_0 C_{14}^x$	C_{12}^y	0	0	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{23}^x$	$\mu_0 C_{24}^x$	0	C_{12}^y	0	0
3	$\mu_0 C_{31}^x$	$\mu_0 C_{32}^x$	$\mu_0 C_{33}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{34}^x$	0	0	C_{12}^y	0
4	$\mu_0 C_{41}^x$	$\mu_0 C_{42}^x$	$\mu_0 C_{43}^x$	$\mu_0 C_{44}^x + C_{11}^y$	0	0	0	C_{12}^y
5	C_{21}^y	0	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	μC_{14}^x
6	0	C_{21}^y	0	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	μC_{23}^x	μC_{24}^x
7	0	0	C_{21}^y	0	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{22}^y$	μC_{34}^x
8	0	0	0	C_{21}^y	μC_{41}^x	μC_{42}^x	μC_{43}^x	$\mu C_{44}^x + C_{22}^y$

Коэффициенты a_{ji} для схем 5.3н, 5.5с

№ урав- нения	Обозначение неизвестных								
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	$\mu_0 C_{13}^x$	C_{12}^y	0	0	C_{13}^y	0	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{23}^x$	0	C_{12}^y	0	0	C_{13}^y	0
3	$\mu_0 C_{31}^x$	$\mu_0 C_{32}^x$	$\mu_0 C_{33}^x + C_{11}^y$	0	0	C_{12}^y	0	0	C_{13}^y
4	C_{21}^y	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	C_{23}^y	0	0
5	0	C_{21}^y	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	μC_{23}^x	0	C_{23}^y	0
6	0	0	C_{21}^y	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{22}^y$	0	0	C_{23}^y
7	C_{31}^y	0	0	C_{32}^y	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{33}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x
8	0	C_{31}^y	0	0	C_{32}^y	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{33}^y$	μC_{23}^x
9	0	0	C_{31}^y	0	0	C_{32}^y	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{33}^y$

6.3.5 Формулы для определения коэффициентов b_i — свободных членов системы уравнений по 6.3.1 представлены в табл. 6.3.5-1 — 6.3.5-4. В наименовании таблиц указана симметричность или несимметричность схем перекрытий относительно оси y , для которых составлена таблица. Поэтому в индексах схем, приведенных в головках таблиц, соответственно опущены буквенные обозначения (см. 6.3.3). В колонках таблиц с упомянутыми индексами приведены формулы b_i для отвечающих им схем перекрытий. В первой колонке таблиц приведены номера уравнений, которым принадлежат коэффициенты b_i в данной строке.

В наименовании таблиц также указано направление балок, нагруженных внешней нагрузкой. В таблицах коэффициенты влияния от внешней нагрузки δ_i , определяемые согласно 6.2, имеют дополнительные надстрочные индексы x или y в зависимости от направления нагруженных балок. Подстрочные индексы в δ_i соответствуют нумерации узлов в пределах каждой балки, принятой в 6.2.5, в зависимости от числа узлов в пределах этой балки, симметрии или несимметрии значений узловых реакций и внешней нагрузки относительно середины пролета балки.

Коэффициенты a_{ji} для схемы 5.4н

№ урав- нения	Обозначение неизвестных											
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}	r_{12}
1	$\mu_0 C_{11}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{12}^x$	$\mu_0 C_{13}^x$	$\mu_0 C_{14}^x$	C_{12}^y	0	0	0	C_{13}^y	0	0	0
2	$\mu_0 C_{21}^x$	$\mu_0 C_{22}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{23}^x$	$\mu_0 C_{24}^x$	0	C_{12}^y	0	0	0	C_{13}^y	0	0
3	$\mu_0 C_{31}^x$	$\mu_0 C_{32}^x$	$\mu_0 C_{33}^x + C_{11}^y$	$\mu_0 C_{34}^x$	0	0	C_{12}^y	0	0	0	C_{13}^y	0
4	$\mu_0 C_{41}^x$	$\mu_0 C_{42}^x$	$\mu_0 C_{43}^x$	$\mu_0 C_{44}^x + C_{11}^y$	0	0	0	C_{12}^y	0	0	0	C_{13}^y
5	C_{21}^y	0	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{22}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	μC_{14}^x	C_{23}^y	0	0	0
6	0	C_{21}^y	0	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{22}^y$	μC_{23}^x	μC_{24}^x	0	C_{23}^y	0	0
7	0	0	C_{21}^y	0	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{22}^y$	μC_{34}^x	0	0	C_{23}^y	0
8	0	0	0	C_{21}^y	μC_{41}^x	μC_{42}^x	μC_{43}^x	$\mu C_{44}^x + C_{22}^y$	0	0	0	C_{23}^y
9	C_{31}^y	0	0	0	C_{32}^y	0	0	0	$\mu C_{11}^x + C_{33}^y$	μC_{12}^x	μC_{13}^x	μC_{14}^x
10	0	C_{31}^y	0	0	0	C_{32}^y	0	0	μC_{21}^x	$\mu C_{22}^x + C_{33}^y$	μC_{23}^x	μC_{24}^x
11	0	0	C_{31}^y	0	0	0	C_{32}^y	0	μC_{31}^x	μC_{32}^x	$\mu C_{33}^x + C_{33}^y$	μC_{34}^x
12	0	0	0	C_{31}^y	0	0	0	C_{32}^y	μC_{41}^x	μC_{42}^x	μC_{43}^x	$\mu C_{44}^x + C_{33}^y$

Фигурирующие в таблицах параметры относительной жесткости балок перекрытия μ и μ_0 определяются соответственно по формулам (1.4.3-4) и (6.3.4).

Для схем перекрытий, не симметричных относительно оси y , когда загружены балки, параллельные этой оси (табл. 6.3.5-3), в таблицах фигурируют множители q_i , определяемые по формуле (6.3.2-4), где i — номер загруженной балки, принят по номеру ее узла на оси x или номеру узла, ближайшего к оси x (когда на оси x узел отсутствует), в соответствии со схемой нумерации узлов перекрытия (см. табл. 6.3.3).

Для схем перекрытий, не симметричных относительно оси y , когда загружены балки, параллельные оси x (табл. 6.3.5-4), нагрузка распределена по «трапеции» (см. рис. 6.3.2). В этом случае коэффициенты влияния δ_i^x определяются по формуле

$$\delta_i^x = q_p \delta_i^p + q_t \delta_i^t, \quad (6.3.5-1)$$

где

$$q_p = \frac{2p_l}{p_0 + p_l}; \quad (6.3.5-2)$$

$$q_t = \frac{p_0 - p_l}{p_0 + p_l}; \quad (6.3.5-3)$$

p_0 и p_l — согласно рис. 6.3.2;

δ_i^p — коэффициент влияния, определяемый согласно 6.2.6, от равномерно распределенной нагрузки (табл. 6.2.6-2);

δ_i^t — коэффициент влияния, определяемый согласно 6.2.6, от нагрузки, распределенной по «треугольнику» (табл. 6.2.6-3).

Таблица 6.3.5-1

Коэффициенты b_i для схем, симметричных относительно оси y ; загружены балки, параллельные оси y

№ уравнения	Индекс схемы								
	1.1; 1.2; 2.1; 2.2	1.3; 1.4; 2.3; 2.4	1.5; 2.5	3.1; 3.2; 4.1; 4.2	3.3; 3.4; 4.3; 4.4	3.5; 4.5	5.1; 5.2	5.3; 5.4	5.5
1	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_1^v
2	—	δ_1^v	δ_1^v	δ_2^v	δ_1^v	δ_1^v	δ_2^v	δ_1^v	δ_1^v
3	—	—	δ_1^v	—	δ_2^v	δ_1^v	δ_3^v	δ_2^v	δ_1^v
4	—	—	—	—	δ_2^v	δ_2^v	—	δ_2^v	δ_2^v
5	—	—	—	—	—	δ_2^v	—	δ_3^v	δ_2^v
6	—	—	—	—	—	δ_2^v	—	δ_3^v	δ_2^v
7	—	—	—	—	—	—	—	—	δ_3^v
8	—	—	—	—	—	—	—	—	δ_3^v
9	—	—	—	—	—	—	—	—	δ_3^v

Таблица 6.3.5-2

Коэффициенты b_i для схем, симметричных относительно оси z ; загружены балки, параллельные оси x

№ уравнения	Индекс схемы											
	1.1; 1.2; 2.1; 2.2	1.3;1.4; 2.3; 2.4	1.5; 2.5	3.1; 3.2	3.3; 3.4	3.5	4.1; 4.2	4.3; 4.4	4.5	5.1; 5.2	5.3; 5.4	5.5
1	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$
2	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$
3	—	—	$\mu\delta_3^x$	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_3^x$	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_3^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_3^x$
4	—	—	—	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$
5	—	—	—	—	—	$\mu\delta_2^x$	—	—	$\mu\delta_2^x$	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_2^x$
6	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$	—	—	$\mu\delta_3^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_3^x$
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_1^x$
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_2^x$
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$

Таблица 6.3.5-3

Коэффициенты b_i для схем, не симметричных относительно оси z ; загружены балки, параллельные оси y

№ уравнения	Индекс схемы											
	1.1; 2.1	1.2; 2.2	1.3; 2.3	1.4; 2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	5.1	5.2	5.3	5.4
1	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y	δ_1^y
2	—	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$	δ_2^y	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$	δ_2^y	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$	$q_2\delta_1^y$
3	—	—	$q_3\delta_1^y$	$q_3\delta_1^y$	—	δ_2^y	$q_3\delta_1^y$	$q_3\delta_1^y$	δ_3^y	δ_2^y	$q_3\delta_1^y$	$q_3\delta_1^y$
4	—	—	—	$q_4\delta_1^y$	—	$q_2\delta_2^y$	δ_2^y	$q_4\delta_1^y$	—	$q_2\delta_2^y$	δ_2^y	$q_4\delta_1^y$
5	—	—	—	—	—	—	$q_2\delta_2^y$	δ_2^y	—	δ_3^y	$q_2\delta_2^y$	δ_2^y
6	—	—	—	—	—	—	$q_3\delta_2^y$	$q_2\delta_2^y$	—	$q_2\delta_3^y$	$q_3\delta_2^y$	$q_2\delta_2^y$
7	—	—	—	—	—	—	—	$q_3\delta_2^y$	—	—	δ_3^y	$q_3\delta_2^y$
8	—	—	—	—	—	—	—	$q_4\delta_2^y$	—	—	$q_2\delta_3^y$	$q_4\delta_2^y$
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$q_3\delta_3^y$	δ_3^y
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$q_2\delta_3^y$
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$q_3\delta_3^y$
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$q_4\delta_3^y$

Таблица 6.3.5-4

Коэффициенты b_i для схем, не симметричных относительно оси y ; загружены балки, параллельные оси x

№ уравнения	Индекс схемы											
	1.1; 2.1	1.2; 2.2	1.3; 2.3	1.4; 2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	5.1	5.2	5.3	5.4
1	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$	$\mu_0\delta_1^x$
2	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$	$\mu_0\delta_2^x$
3	—	—	$\mu\delta_3^x$	$\mu\delta_3^x$	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_3^x$	$\mu_0\delta_3^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_3^x$	$\mu_0\delta_3^x$
4	—	—	—	$\mu\delta_4^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_4^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	$\mu_0\delta_4^x$
5	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_1^x$
6	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$	$\mu\delta_2^x$	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_3^x$	$\mu\delta_2^x$
7	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$	—	—	$\mu\delta_1^x$	$\mu\delta_3^x$
8	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_4^x$	—	—	$\mu\delta_2^x$	$\mu\delta_4^x$
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$	$\mu\delta_1^x$
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_2^x$
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_3^x$
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu\delta_4^x$

6.4 РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЗЛОВЫХ РЕАКЦИЙ

6.4.1 Метод решения системы уравнений для определения узловых реакций перекрытия по 6.3.1 не регламентируется и в материалы расчета, представляемые на согласование Регистру, может не включаться. Обязательна, однако, проверка правильности определения значений узловых реакций подстановкой их в уравнения по 6.3.1.

6.4.2 Если при решении системы уравнений значения каких-либо величин оказались отрицательными (исключение составляют палубные перекрытия с большими люковыми вырезами), необходимо повторить расчет, увеличив соотношение жесткостей между поддерживающими и поддерживаемыми связями перекрытия.

6.5 НАИБОЛЬШИЕ ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИЕ СИЛЫ

6.5.1 В данной главе приведены формулы для определения наибольших значений изгибающих моментов и перерезывающих сил для наиболее нагруженных балок перекрытий в форме коэффициентов моментов и перерезывающих сил (см. в 1.4.3). Узловые реакции считаются известными. Раздельно рассматриваются балки, нагруженные и не нагруженные внешней нагрузкой, для всех указанных в 6.2.4 вариантов граничных условий и формы внешней нагрузки.

6.5.2 Формулы для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n для симметричного случая, согласно 6.2.4, у балок, не нагруженных внешней нагрузкой, представлены в табл. 6.5.2-1,

где m_0 — значение m в опорном сечении;

m_m — значение m в сечении максимума изгибающего момента в пролете балки.

Таблица 6.5.2-1

Формулы для коэффициентов m и n незагруженных балок. Симметричный случай

Коэффициент	k				
	1	2	3	4	5
n	$\frac{1}{2} r_a$	r_a	$\frac{1}{2} r_a + r_b$	$r_a + r_b$	$\frac{1}{2} r_a + r_b + r_c$
$\frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{8} r_a \times$	$\frac{2}{9} r_a \times$	$\frac{1}{16} (2r_a + 3r_b) \times$	$\frac{2}{25} (3r_a + 2r_b) \times$	$\frac{1}{36} (\frac{2}{9} r_a + 8r_b + 5r_c) \times$
$\frac{1}{m_m}$	$\frac{1}{4} r_a - \frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{3} r_a - \frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{4} (r_a + r_b) - \frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{5} (2r_a + r_b) - \frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{12} (3r_a + 4r_b + 2r_c) - \frac{1}{m_0}$

Таблица 6.5.2-2

Соотнесение обозначений узловых реакций в табл. 6.5.2-1 и 6.5.7 с нумерацией узлов (реакций) на схемах перекрытий в табл. 6.3.3 для балок, параллельных оси x

Обозначение r в табл. 6.5.7 и 6.5.2-1	Индекс схемы					
	1.1с; 1.2с; 2.1с; 2.2с; 4.1с; 4.2с	3.1с; 3.2с; 5.1с; 5.2с	1.3с; 1.4с; 2.3с; 2.4с; 4.1с; 4.2с	3.3с; 3.4с; 5.3с; 5.4с	1.5с; 2.5с; 4.5с	3.5с; 5.5с
r_a	r_1	r_1 и r_2	r_1	r_1 и r_3	r_1	r_1 и r_4
r_b	—	—	r_2	r_1 и r_4	r_2	r_2 и r_5
r_c	—	—	—	—	r_3	r_3 и r_6

Таблица 6.5.2-3

Соотнесение обозначений узловых реакций в табл. 6.5.2-1 и 6.5.7 с нумерацией узлов (реакций) на схемах перекрытий в табл. 6.3.3 для балок, параллельных оси y

Обозначение r_j в табл. 6.5.2-1 и 6.5.7	Индекс схемы													
	1.1с; 1.1н;	1.2н	3.1с		3.3с			5.1с						
	1.3с; 1.4н;	1.3н	3.2с	3.2н	3.4с	3.4н	3.5с	5.1н	5.2н	5.3с	5.3н	5.4н	5.5н	
	1.5с; 2.1с;	1.4н	3.1н	3.3н	4.4с		4.5с	5.2с		5.4с				
	2.1н; 2.2с;	2.2н	4.1с											
	2.2н	2.3н	4.2с											
r_a	r_1	$r_1; r_2$	r_1	$r_1; r_2$	r_1	$r_1; r_2$	r_1	r_1	$r_1; r_2$	r_1	$r_1; r_2$	$r_1; r_2$	r_1	
r_b	—	—	r_2	$r_3; r_4$	r_3	$r_5; r_6$	r_4	r_2	$r_3; r_4$	r_3	$r_4; r_5$	$r_5; r_6$	r_4	
r_c	—	—	—	—	—	—	—	r_3	$r_5; r_6$	r_5	$r_7; r_8$	$r_9; r_{10}$	r_7	

Безразмерные узловые реакции в формулах таблицы имеют обозначенные буквенные индексы a , b и c . Для разных перекрытий в зависимости от расположения в них наиболее загруженных балок и принятой нумерации узлов в схеме перекрытия им должны придаваться конкретные значения. Для схем перекрытий из табл. 6.3.3 такое соотнесение обозначений представлено в табл. 6.5.2-2 для случая, когда балки перекрытия параллельны оси x , и в табл. 6.5.2-3 для случая, когда балки параллельны оси y . Указания в одной колонке табл. 6.5.2-2 на две группы значений узловых реакций r_j , соединенных буквой «и», означают, что коэффициенты m и n могут вычисляться для обеих этих групп значений r_j . Указанное требуется в случае, когда балка, совпадающая с осью x , усилена по сравнению с другими балками того же направления. Тогда, наряду с вычислением коэффициентов m и n для усиленной балки по первой группе значений r_j , необходимо вычислить коэффициенты m и n для ближайшей к ней смежной балки по второй группе значений r_j .

Указания в одной колонке табл. 6.5.2-3 на две группы значений узловых реакций r_j , разделенных точкой с запятой, означают, что коэффициенты m и n должны вычисляться для обеих групп значений r_j ; в качестве окончательного результата из двух значений m нужно выбрать наименьшее, а из двух значений n — большее.

6.5.3 Если коэффициент опорной пары κ в формулах табл. 6.5.2-1 и 6.5.7 — результат осреднения разных значений этой величины на концах балки κ_0 и κ_l , согласно 6.1.5,

$$\kappa = \frac{1}{2} (\kappa_0 + \kappa_l), \quad (6.5.3)$$

то при вычислении значений коэффициентов моментов в опорных сечениях по формулам указанной таблицы следует подставлять в эти формулы соответственно κ_0 , вычисляя m_0 для одного конца балки, и κ_l , вычисляя m_l для другого конца балки.

При вычислении коэффициента момента m_m для сечения максимума изгибающего момента в пролете и коэффициента перерезывающей силы n должно использоваться среднее значение κ по формуле (6.5.3).

6.5.4 Формулы для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n для несимметричного случая в двух вариантах, согласно 6.2.4, у балок, не нагруженных внешней нагрузкой, представлены в табл. 6.5.4-1. Здесь нумерация безразмерных реакций r_j соответствует принятой на схемах перекрытий в табл. 6.3.3.

Если в строке для коэффициента m_m приведены две или три формулы, объединенные фигурной скобкой, следует вычислить значение m_m по каждой из этих формул, а в качестве окончательного результата принять наименьшее значение m_m .

Если балка перекрытия, совпадающая с осью x (центральная балка), усилена по сравнению с другими балками того же направления, наряду с коэффициентами m и n для этой балки по табл. 6.5.4-1 должны вычисляться коэффициенты моментов m и n для ближайшей к ней смежной балки. Для этого в формулах табл. 6.5.4-1 должна быть выполнена перенумерация r_j в соответствии с указаниями табл. 6.5.4-2.

6.5.5 Если фигурирующее в формулах табл. 6.5.4-1 и 6.5.8 значения коэффициента опорной пары — результат осреднения по формуле (6.5.3), то для вычисления коэффициентов моментов в опорных сечениях m_0 и m_l , используемых в последующем для проверки прочности этих сечений, должны применяться соответственно κ_0 и κ_l . Значения m_0 и m_l , фигурирующие в формулах для коэффициента m_m и коэффициента перерезывающей силы n той же таблицы, должны вычисляться с использованием осредненного значения κ по формуле (6.5.3).

6.5.6 Для особого случая закрепления концов балок, согласно 6.2.4, если эти балки не нагружены внешней нагрузкой, для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n должны использоваться следующие формулы:

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{16} r_a (3 - \kappa); \quad \frac{1}{m_l} = \frac{1}{8} r_a \kappa;$$

$$\frac{1}{m_m} = \frac{5}{32} r_a (1 + \varkappa);$$

$$n = \frac{1}{16} r_a (11 + 3\varkappa),$$

где обозначенное обозначение безразмерной реакции r_a должно быть соотносено с нумерацией узлов на схемах перекрытий в табл. 6.3.3 в соответствии с указаниями табл. 6.5.2-3.

Таблица 6.5.4-1

Формулы для коэффициентов m и n незагруженных балок. Несимметричный случай

Коэффициент	№ варианта	k			
		1	2	3	4
n	—	$\frac{1}{2} r_1 + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{1}{3} (2r_1 + r_2) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{1}{4} (3r_1 + 2r_2 - r_3) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{1}{5} (4r_1 + 3r_2 + 2r_3 + r_4) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$
$\frac{1}{m_m}$	—	$\frac{1}{2} n - \frac{1}{m_0}$	$\begin{cases} \frac{1}{3} n - \frac{1}{m_0}; \\ \frac{2}{3} n - \frac{1}{3} r_1 - \frac{1}{m_0} \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{4} n - \frac{1}{m_0}; \\ \frac{1}{2} n - \frac{1}{4} r_1 - \frac{1}{m_0}; \\ \frac{3}{4} n - \frac{1}{2} r_1 - \frac{1}{4} r_2 - \frac{1}{m_0} \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{2}{5} n - \frac{1}{5} r_1 - \frac{1}{m_0}; \\ \frac{3}{5} n - \frac{2}{5} r_1 - \frac{1}{5} r_2 - \frac{1}{m_0} \end{cases}$
$\frac{1}{m_0}$	1	$\frac{1}{8} r_1 \varkappa$	$\frac{2}{27} (2r_1 + r_2) \varkappa$	$\frac{1}{64} (9r_1 + 8r_2 + 3r_3) \varkappa$	$\frac{2}{125} (8r_1 + 9r_2 + 6r_3 + 2r_4) \varkappa$
	2	$\frac{3}{16} r_1 \varkappa$	$\frac{1}{27} (5r_1 + 4r_2) \varkappa$	$\frac{3}{128} (7r_1 + 8r_2 + 5r_3) \varkappa$	$\frac{3}{125} (6r_1 + 8r_2 + 7r_3 + 4r_4) \varkappa$
$\frac{1}{m_l}$	1	$\frac{1}{8} r_1 \varkappa$	$\frac{2}{27} (r_1 + 2r_2) \varkappa$	$\frac{1}{64} (3r_1 + 8r_2 + 9r_3) \varkappa$	$\frac{2}{125} (2r_1 + 6r_2 + 9r_3 + 8r_4) \varkappa$
	2	0	0	0	0

Таблица 6.5.4-2

Соотношение обозначений узловых реакций центральной балки перекрытия и ближайшей к ней смежной балки

Балка	k_y									
	1	2		3			4			
Центральная	r_1	r_1	r_2	r_1	r_2	r_3	r_1	r_2	r_3	r_4
Смежная с центральной	r_2	r_3	r_4	r_4	r_5	r_6	r_5	r_6	r_7	r_8

6.5.7 Формулы для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n для симметричного случая, согласно 6.2.4, у балок, нагруженных равномерно распределенной внешней нагрузкой, представлены в табл. 6.5.7. При $k=5$ в строке для коэффициента m_m приведены две формулы, объединенные фигурной скобкой. Следует вычислить значение m_m по обеим формулам и в качестве окончательного результата принять меньшее значение m_m .

Обозначенные обозначения безразмерных реакций r_a, r_b, r_c в формулах таблицы соотносятся с нумерацией узлов на схемах перекрытий в табл. 6.3.3 в соответствии с указаниями 6.5.2 и табл. 6.5.2-2 и 6.5.2-3.

На формулы таблицы распространяются указания 6.5.3.

6.5.8 Формулы для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n для несимметричного случая в двух вариантах, согласно 6.2.4, у балок, нагруженных внешней нагрузкой, распределенной по «трапеции», представлены в табл. 6.5.8.

В строке для коэффициента m_m приведены по две или три формулы, объединенные фигурной скобкой. Следует вычислить значение m_m по всем формулам и в качестве окончательного результата принять наименьшее значение m_m .

Коэффициенты q_p и q_t определяются по формулам (6.3.5-2) и (6.3.5-3).

На формулы таблицы распространяются указания 6.5.4 в части, касающейся случаев, когда балка перекрытия, совпадающая с осью x , усилена по сравнению с другими балками того же направления, а также указания 6.5.5.

6.5.9 Для особого случая закрепления концов балки, согласно 6.2.4, если эти балки нагружены равномерно распределенной нагрузкой, для коэффициентов моментов m и коэффициентов перерезывающих сил n должны использоваться следующие формулы:

$$\begin{aligned}\frac{1}{m_0} &= \frac{1}{8} - \frac{3}{16} r_a - \frac{1}{2m_l}; \\ \frac{1}{m_l} &= \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8} r_a \right) \kappa; \\ \frac{1}{m_m} &= \frac{1}{2} (n + r_a)^2 - \frac{1}{2} r_a - \frac{1}{m_0}; \\ n &= \frac{1}{16} (10 - 11r_a) - \frac{3}{2m_l},\end{aligned}$$

где обозначенное обозначение безразмерной реакции r_a должно быть соотносено с нумерацией узлов на схемах перекрытий в табл. 6.3.3 в соответствии с указаниями табл. 6.5.2-3.

Таблица 6.5.7
 Формулы для коэффициентов m и n балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Симметричный случай

Коэффициент	k				
	1	2	3	4	5
n	$\frac{1}{2}(1-r_a)$	$\frac{1}{2}-r_a$	$\frac{1}{2}(1-r_a-2r_b)$	$\frac{1}{2}-r_a-r_b$	$\frac{1}{2}(1-r_a-2r_b-2r_c)$
$\frac{1}{m_0}$	$\left(\frac{1}{12}-\frac{1}{8}r_a\right)\varepsilon$	$\left(\frac{1}{12}-\frac{2}{9}r_a\right)\varepsilon$	$\left(\frac{1}{12}-\frac{1}{8}r_a-\frac{3}{16}r_b\right)\varepsilon$	$\left[\frac{1}{12}-\frac{2}{25}(3r_a+2r_b)\right]\varepsilon$	$\frac{1}{36}\left(3-\frac{9}{2}r_a-8r_b-5r_c\right)\varepsilon$
$\frac{1}{m_m}$	$\frac{1}{2}n^2\frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{2}n+\frac{1}{6}r_a-\frac{1}{8}\frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{2}(n+r_b)^2-\frac{1}{4}r_b-\frac{1}{m_0}$	$\frac{1}{2}n+\frac{1}{10}r_a+\frac{3}{10}r_b-\frac{1}{8}\frac{1}{m_0}$	$\left\{\frac{1}{2}(n+r_c)^2-\frac{1}{6}r_c-\frac{1}{m_0}\right\}$ $\left\{\frac{1}{2}(n+r_b+r_c)^2-\frac{1}{3}r_b-\frac{1}{6}r_c-\frac{1}{m_0}\right\}$

Таблица 6.58
Формулы для коэффициентов m и n блоков, нагруженных нагрузкой, распределенной по «трапеции»

Коэффициент	№ варианта	k			
		1	2	3	4
$\frac{1}{m_0}$	1	$\left(\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{r_1}{10} - \frac{r_2}{8}\right) \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{2}{10} \cdot \frac{2}{27} (2r_1 + r_2)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{1}{10} (9r_1 + 8r_2 + 3r_3)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{2}{10} (8r_1 + 9r_2 + 6r_3 + 2r_4)\right] \kappa$
	2	$\left(\frac{q_p + q_r}{8} - \frac{3r_1}{15} - \frac{r_2}{16}\right) \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{8} - \frac{2q_r}{15} - \frac{1}{27} (5r_1 + 4r_2)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{8} - \frac{2q_r}{15} - \frac{3}{128} (7r_1 + 8r_2 + 5r_3)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{8} - \frac{2q_r}{15} - \frac{3}{125} (6r_1 + 8r_2 + 7r_3 + 4r_4)\right] \kappa$
$\frac{1}{m_l}$	1	$\left(\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{r_1}{15} - \frac{r_2}{8}\right) \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{2}{15} \cdot \frac{2}{27} (r_1 + 2r_2)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{1}{15} \cdot \frac{1}{64} (3r_1 + 8r_2 + 9r_3)\right] \kappa$	$\left[\frac{q_p + q_r}{12} - \frac{2}{15} \cdot \frac{2}{125} (2r_1 + 6r_2 + 9r_3 + 8r_4)\right] \kappa$
	2	0	0	0	0
n	—	$\frac{q_p + 2q_r}{2} - \frac{r_1}{3} - \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{q_p + 2q_r}{2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} (2r_1 + r_2) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{q_p + 2q_r}{2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} (3r_1 + 2r_2 + r_3) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$	$\frac{q_p + 2q_r}{2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} (4r_1 + 3r_2 + 2r_3 + r_4) + \frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_l}$
$\frac{1}{m_m}$	—	$\left\{ \begin{aligned} &n\bar{x}_1 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_1^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_1^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_2 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_2^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_3 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_3^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_3^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_4 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_4^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_4^3}{3} - \frac{1}{m_0} \end{aligned} \right.$	$\left\{ \begin{aligned} &n\bar{x}_1 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_1^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_1^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_2 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_2^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_3 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_3^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_3^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_4 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_4^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_4^3}{3} - \frac{1}{m_0} \end{aligned} \right.$	$\left\{ \begin{aligned} &n\bar{x}_2 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_2^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_3 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_3^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_3^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_4 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_4^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_4^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_5 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_5^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_5^3}{3} - \frac{1}{m_0} \end{aligned} \right.$	$\left\{ \begin{aligned} &n\bar{x}_2 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_2^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_2^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_3 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_3^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_3^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_4 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_4^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_4^3}{3} - \frac{1}{m_0}; \\ &\bar{n}\bar{x}_5 - (q_p + 2q_r) \frac{\bar{x}_5^2}{2} + q_r \frac{\bar{x}_5^3}{3} - \frac{1}{m_0} \end{aligned} \right.$

$$\begin{aligned}\bar{x}_1 &= \frac{1}{2q_\tau} \left[q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4nq_\tau} \right]; \\ \bar{x}_2 &= \frac{1}{2q_\tau} \left[q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4(n + r_1)q_\tau} \right]; \\ \bar{x}_3 &= \frac{1}{2q_\tau} \left[q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4(n + r_1 + r_2)q_\tau} \right]; \\ \bar{x}_4 &= \frac{1}{2q_\tau} \left[q_p + 2q_\tau - \sqrt{(q_p + 2q_\tau)^2 - 4(n + r_1 + r_2 + r_3)q_\tau} \right].\end{aligned}$$

Если значение $\bar{x}_i$ выходит за пределы своего граничного значения, принимается $\bar{x}_i$, равное этому граничному значению.

6.6 ПЕРЕКРЫТИЯ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ БАЛОК ГЛАВНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

6.6.1 В данной главе изложены материалы для расчета перекрытий с большим числом одинаковых балок главного направления и малым числом (от 1 до 5) перекрестных связей. Рассматривается два случая:

симметричный, когда балки главного направления (они параллельны оси y) загружены равномерно распределенной нагрузкой и имеют одинаковую заделку концов;

тогда обеспечивается симметрия относительно оси x , параллельной перекрестным связям;

несимметричный, когда балки главного направления загружены внешней нагрузкой, распределенной по «трапеции»; оба конца этих балок могут быть заделаны упруго (вариант 1 в табл. 6.2.4), или упруго заделан только один конец, другой конец шарнирно оперт (вариант 2 в табл. 6.2.4), тогда симметрия перекрытия относительно оси x нарушается.

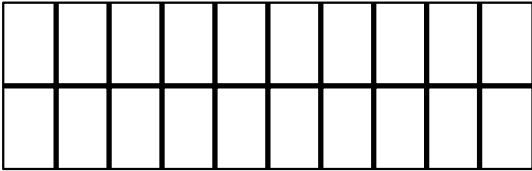
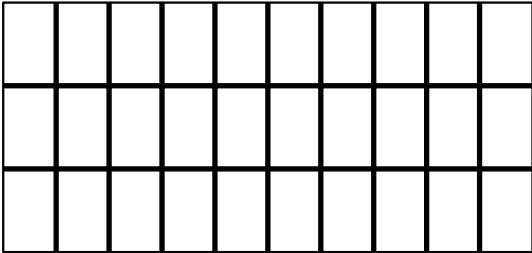
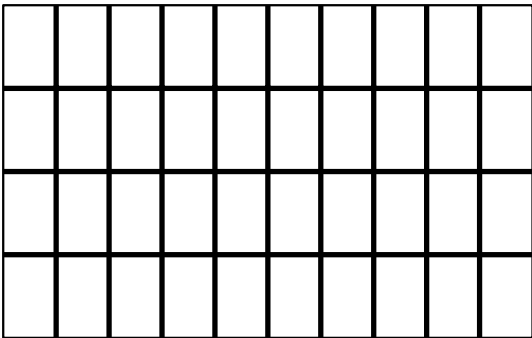
Относительно оси y перекрытия считаются симметричными в обоих случаях.

6.6.2 Схемы рассматриваемых перекрытий представлены в табл.6.6.2. Число балок главного направления (число узлов в перекрестной связи) $k_x > 5$. На схемах нумерация перекрестных связей приведена для двух случаев, согласно 6.6.1, — симметричного и несимметричного. (Для несимметричного случая номера перекрестных связей — в скобках). В таблице также указано число перекрестных связей k_y и индекс, присвоенный каждой схеме, который используется в Методике для ссылок на материалы данной главы.

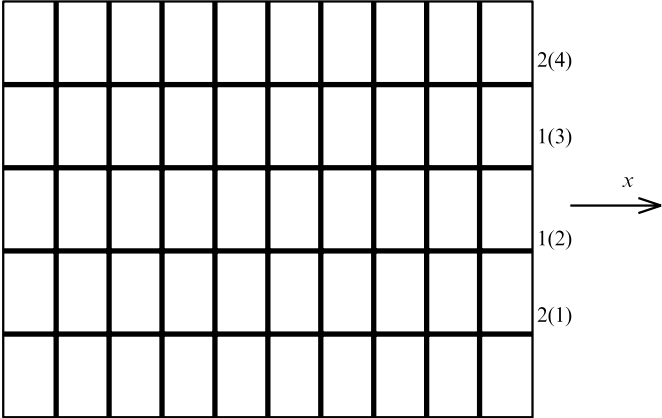
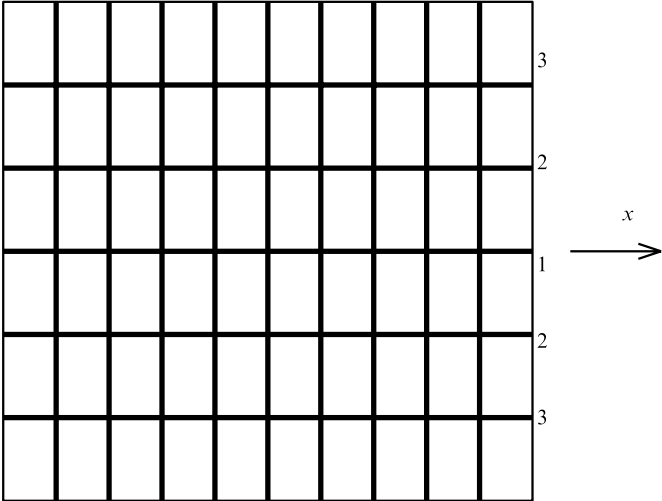
Индекс состоит из целого числа, соответствующего числу перекрестных связей k_y , и буквы «с» (для симметричного случая) или «н» (для несимметричного случая).

Таблица 6.6.2

Схемы перекрытий с большим числом балок главного направления

Схемы	k_y	Индекс
	1	1с 1н
	2	2с 2н
	3	3с 3н

Продолжение табл. 6.6.2

Схемы	k_y	Индекс
 Diagram of a 5x10 grid. On the right side, the rows are labeled from top to bottom: 2(4), 1(3), 1(2), 2(1). An arrow labeled x points to the right from the middle of the grid.	4	4с 4н
 Diagram of a 6x10 grid. On the right side, the rows are labeled from top to bottom: 3, 2, 1, 2, 3. An arrow labeled x points to the right from the middle of the grid.	5	5с —

6.6.3 Формулы для определения параметров жесткости перекрестных связей как балок на сплошном упругом основании представлены в табл. 6.6.3.

Таблица 6.6.3

Вспомогательные параметры для расчета перекрестных связей

Индекс схемы	i	Δ_i	u_i
1с; 1н; 2с	1	C_{11}^y	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_1)$
2н*; 3с; 4с*	1	$C_{11}^y + C_{12}^y (\delta_2^y / \delta_1^y) (F^x / I_0^x)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu_0 / \Delta_1)$
	2	$C_{22}^y + C_{21}^y (\delta_1^y / \delta_2^y) (I_0^x / F^x)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_2)$
3н; 5с	1	$C_{11}^y + C_{12}^y (\delta_2^y / \delta_1^y) (F^x / I_0^x) + C_{13}^y (\delta_3^y / \delta_1^y) (F^x / I_0^x)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu_0 / \Delta_1)$
	2	$C_{22}^y + C_{21}^y (\delta_1^y / \delta_2^y) (I_0^x / F^x) + C_{23}^y (\delta_3^y / \delta_2^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_2)$
	3	$C_{33}^y + C_{31}^y (\delta_1^y / \delta_3^y) (I_0^x / F^x) + C_{32}^y (\delta_2^y / \delta_3^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_3)$
4н	1	$C_{11}^y + C_{12}^y (\delta_2^y / \delta_1^y) + C_{13}^y (\delta_3^y / \delta_1^y) + C_{14}^y (\delta_4^y / \delta_1^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_1)$
	2	$C_{22}^y + C_{21}^y (\delta_1^y / \delta_2^y) + C_{23}^y (\delta_3^y / \delta_2^y) + C_{24}^y (\delta_4^y / \delta_2^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_2)$
	3	$C_{33}^y + C_{31}^y (\delta_1^y / \delta_3^y) + C_{32}^y (\delta_2^y / \delta_3^y) + C_{34}^y (\delta_4^y / \delta_3^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_3)$
	4	$C_{44}^y + C_{41}^y (\delta_1^y / \delta_4^y) + C_{42}^y (\delta_2^y / \delta_4^y) + C_{43}^y (\delta_3^y / \delta_4^y)$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} (k_x + 1) (\mu / \Delta_4)$
*Принимается $I_0^x = F^x$; $\mu_0 = \mu$.			

В таблице обозначено:

i — номер перекрестной связи в соответствии с указаниями табл. 6.6.2;

μ — параметр относительной жесткости балок перекрытия, определяемый по формуле (1.4.3-4);

μ_0 — значение параметра μ для случая, когда перекрестная связь, совпадающая с осью x (центральная связь), усилена по сравнению с другими перекрестными связями, определяемое по формуле (6.3.4);

I^x — момент инерции сечения перекрестной связи;

I_0^x — значение I^x для усиленной центральной связи;

C_{ij}^y — коэффициенты влияния для балок главного направления от узловых реакций, определяемые по формуле (6.2.1);

δ_i^y — коэффициенты влияния для балок главного направления от внешней нагрузки, определяемые по формуле (6.2.3).

Нумерация узлов балки главного направления при определении коэффициентов влияния согласно табл. 6.2.4 соответствует нумерация перекрестных связей на схемах перекрытий в табл. 6.6.2. Для несимметричного случая, когда балка главного направления загружена внешней нагрузкой, распределенной по «трапеции», при определении коэффициентов влияния δ_i^y следует использовать формулу (6.3.5-1), заменив в ней надстрочный индекс x на y .

6.6.4 Коэффициенты моментов m и коэффициенты перерезывающих сил n для перекрестных связей определяются по следующим формулам: для максимального изгибающего момента в пролете

$$\frac{1}{m_m} = \frac{1}{8} \eta_i \chi_m(u_i); \quad (6.6.4-1)$$

для опорного сечения

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{12} \eta_i \chi^x \chi_2(u_i); \quad (6.6.4-2)$$

для максимальной перерезывающей силы

$$n = \frac{1}{2} \eta_i \mu_n(u_i), \quad (6.6.4-3)$$

где

$$\eta_i = \frac{\delta_i^y}{\Delta_i} (k_x + 1); \quad (6.6.4-4)$$

$$\chi_m(u_i) = (1 - \chi^x) \chi_0(u_i) + \frac{1}{3} \chi^x \chi_1(u_i); \quad (6.6.4-5)$$

$$\mu_n(u_i) = (1 - \chi^x) \mu_0(u_i) + \chi^x \mu_1(u_i); \quad (6.6.4-6)$$

χ^x — коэффициент опорной пары перекрестной связи;

$\chi_0(u_i)$, $\chi_1(u_i)$, $\chi_2(u_i)$, $\mu_0(u_i)$ и $\mu_1(u_i)$ — вспомогательные функции, определяемые по формулам, приведенным в табл. 6.6.4-1 в зависимости от параметра u_i (в формулах индекс i при параметре u опущен), их числовые значения приведены в табл. 6.6.4-2.

δ_i^y , Δ_i и u_i определяются согласно 6.6.3.

Если коэффициент опорной пары χ^x — результат осреднения этой величины на концах перекрестной связи χ_0^x и χ_1^x по формуле (6.5.3), то в формулах (6.6.4-5) и (6.6.4-6) должно использоваться осредненное значение χ^x , а формулу (6.6.4-2) следует применять дважды, вычисляя m_0 по χ_0^x и m_1 по χ_1^x для разных концов связи.

Для симметричного случая коэффициенты m и n по формулам (6.6.4-1) — (6.6.4-3) вычисляются только при $i=1$. Если центральная перекрестная связь усилена, дополнительно должны быть вычислены значения m и n при $i=2$. Для несимметричного случая коэффициенты m и n должны быть вычислены при всех значениях i , указанных во второй строке табл. 6.6.4-3. Из вычисленных значений в расчет принимается наименьшее значение m и наибольшее значение n .

Таблица 6.6.4-1

Вспомогательные функции для расчета перекрестных связей

Функция	$u \leq 4$	$u > 4$
$\chi_0(u)$	$\frac{2}{u^2} \frac{sh\,u\,sin\,u}{ch\,2u + cos\,2u}$	$\frac{2}{u^2} \frac{sin\,u}{e^u}$
$\chi_1(u)$	$\frac{6}{u^2} \frac{ch\,u\,sin\,u - sh\,u\,cos\,u}{sh\,2u + sin\,2u}$	$\frac{6}{u^2} \frac{sin\,u - cos\,u}{e^u}$
$\chi_2(u)$	$\frac{3}{2u^2} \frac{sh\,2u - sin\,2u}{sh\,2u + sin\,2u}$	$\frac{3}{2u^2}$
$\mu_0(u)$	$\frac{1}{2u} \frac{sh\,2u + sin\,2u}{ch\,2u + cos\,2u}$	$\frac{1}{2u}$
$\mu_1(u)$	$\frac{1}{u} \frac{ch\,2u - cos\,2u}{sh\,2u + sin\,2u}$	$\frac{1}{u}$
$\varphi_0(u)$	$\frac{2ch\,u\,cos\,u}{ch\,2u + cos\,2u}$	$2 \frac{cos\,u}{e^u}$
$\varphi_1(u)$	$2 \frac{ch\,u\,sin\,u + sh\,u\,cos\,u}{sh\,2u + sin\,2u}$	$2 \frac{sin\,u + cos\,u}{e^u}$

6.6.5 Безразмерные значения узловых реакций средней балки главного направления определяются по формуле:

$$r_i = \frac{\delta_i^y}{\Delta_i} \varphi_r(u_i), \quad (6.6.5-1)$$

где

$$\varphi_r(u_i) = (1 - \kappa^x) \varphi_0(u_i) + \kappa^x \varphi_1(u_i); \quad (6.6.5-2)$$

$\varphi_0(u_i)$ и $\varphi_1(u_i)$ — вспомогательные функции, определяемые по формулам табл. 6.6.4-1, их числовые значения приведены в табл. 6.6.4-2 в зависимости от параметра u_i ; δ_i^y , Δ_i и u_i определяются согласно 6.6.3.

В формуле (6.6.5-2) используется осредненное значение κ^x (см. в 6.6.4).

Таблица 6.6.4-2

Значения вспомогательных функций для расчета перекрестных связей

u	$\chi_0(u)$	$\chi_1(u)$	$\chi_2(u)$	$\mu_0(u)$	$\mu_1(u)$	$\varphi_0(u)$	$\varphi_1(u)$
0	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,999	1,000	1,000	0,999	1,000	0,999	1,000
0,3	0,995	0,999	0,999	0,996	0,999	0,993	0,999
0,4	0,983	0,996	0,997	0,987	0,998	0,979	0,996
0,5	0,959	0,991	0,993	0,968	0,994	0,950	0,990
0,6	0,919	0,982	0,985	0,936	0,989	0,901	0,979
0,7	0,859	0,968	0,973	0,889	0,979	0,827	0,961
0,8	0,781	0,946	0,956	0,828	0,965	0,731	0,935
0,9	0,689	0,916	0,931	0,755	0,946	0,619	0,899
1,0	0,591	0,878	0,899	0,678	0,921	0,498	0,852
1,1	0,494	0,830	0,859	0,601	0,890	0,380	0,795
1,2	0,405	0,774	0,813	0,531	0,854	0,272	0,728
1,3	0,328	0,711	0,761	0,469	0,814	0,178	0,653
1,4	0,262	0,645	0,705	0,417	0,770	0,100	0,573
1,5	0,208	0,576	0,648	0,373	0,726	0,037	0,492
1,6	0,164	0,509	0,592	0,337	0,681	−0,013	0,411
1,7	0,129	0,444	0,537	0,308	0,638	−0,052	0,335
1,8	0,102	0,383	0,486	0,285	0,598	−0,081	0,264
1,9	0,079	0,328	0,439	0,265	0,561	−0,102	0,200
2,0	0,062	0,279	0,396	0,249	0,527	−0,117	0,144
2,1	0,048	0,235	0,358	0,235	0,496	−0,127	0,095
2,2	0,037	0,197	0,325	0,224	0,469	−0,133	0,054
2,3	0,028	0,164	0,295	0,213	0,445	−0,135	0,019
2,4	0,021	0,136	0,269	0,205	0,423	−0,135	−0,009
2,5	0,016	0,112	0,246	0,197	0,404	−0,132	−0,032
2,6	0,011	0,091	0,226	0,189	0,386	−0,127	−0,050
2,7	0,008	0,074	0,209	0,183	0,371	−0,121	−0,064
2,8	0,005	0,060	0,193	0,177	0,357	−0,114	−0,074
2,9	0,003	0,048	0,179	0,171	0,344	−0,107	−0,080
3,0	0,002	0,038	0,167	0,166	0,332	−0,098	−0,084
3,1	0,000	0,029	0,156	0,161	0,321	−0,090	−0,086
3,2	0,000	0,022	0,146	0,156	0,311	−0,081	−0,086
3,3	−0,001	0,017	0,138	0,151	0,302	−0,073	−0,084
3,4	−0,001	0,012	0,129	0,147	0,293	−0,064	−0,081
3,5	−0,002	0,009	0,122	0,143	0,285	−0,057	−0,078
3,6	−0,002	0,006	0,115	0,139	0,277	−0,049	−0,073
3,7	−0,002	0,003	0,109	0,135	0,270	−0,042	−0,068
3,8	−0,002	0,002	0,104	0,132	0,263	−0,035	−0,063
3,9	−0,002	0,000	0,098	0,128	0,256	−0,029	−0,057
4,0	−0,002	−0,001	0,094	0,125	0,250	−0,024	−0,052

Значения i , при которых должны вычисляться коэффициенты m и n для перекрестных связей.
Несимметричный случай

k_y	1	2	3	4
i	1	1; 2	1; 2; 3	2; 3

Суммарная нагрузка Q на балку главного направления в формуле (1.4.3-1) для r_i определяется для симметричного случая по формуле (6.3.2-1), для несимметричного случая по формуле (6.3.2-5), если в последней поменять местами индексы x и y .

Коэффициенты моментов и перерезывающих сил m и n для средней балки главного направления определяются согласно 6.5.7 и 6.5.8. При этом для симметричного случая обозначенные обозначения безразмерных реакций в табл. 6.5.7 соотносятся с нумерацией перекрестных связей следующим образом:

$$r_a = r_1; r_b = r_2; r_c = r_3. \quad (6.6.5-3)$$

ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ РЕГИСТРА К ЛЕДОВЫМ УСИЛЕНИЯМ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

Существующая методология регламентации ледовой прочности судов ледового плавания и ледоколов была разработана во второй половине 70-х годов и вошла в Правила Регистра 1981 и 1985 гг., а также с некоторыми изменениями в Правила Регистра 1990 и 1995 гг. На основе этой методологии создавался современный отечественный арктический флот. Расширение районов плавания и осуществленный в 80-х годах переход к продленной, вплоть до круглогодичной, навигации на трассах Северного морского пути, а также накопленный опыт эксплуатации арктического флота определили необходимость совершенствования существующей методологии, пересмотра ряда ее концептуальных положений и создания новой редакции требований Правил Регистра к ледовым усилениям судов ледового плавания и ледоколов.

В новой редакции:

а) Реализована новая концепция ледовой классификации по базовым режимам движения судов во льдах, обеспечивающая:

— регламентацию в рамках каждой ледовой категории одинаковых для всех судов допустимых условий плавания во льдах независимо от их размерений и формы обводов;

— установление стабильного гарантированного запаса допустимых условий плавания судов во льдах по отношению к опасным, приводящим к ледовым повреждениям корпусов;

— единый подход к нормированию ледовой прочности судов ледового плавания и ледоколов.

б) Осуществлен переход к физически обоснованным критериям и методам оценки прочности конструкций ледовых усилениях, учитывающим резервы пластического деформирования материала и действительные формы ледовых повреждений.

в) Сформулированы количественные условия для обоснования выбора требуемой ледовой категории судна.

г) Унифицированы на основе согласования базовых режимов движения требования к низшим ледовым категориям (Л1, Л2, Л3, Л4) с требованиями к ледовым классам (IC, IB, IA, IASuper) Финско-Шведских Правил для Балтики.

Использование новой редакции Правил обеспечит повышение эффективности и эксплуатационной надежности судов ледового плавания и ледоколов.

Проект новой редакции требований к ледовым усилениям судов ледового плавания и ледоколов представлен в виде новых текстов следующих пунктов и глав действующих Правил классификации и постройки морских судов Регистра 1995 года:

ч. I «Классификация»: 2.2.3;

ч. II «Корпус»: 3.10, 3.11;

ч. VII «Механические установки»: 1.4.1, 1.4.2.

В Проекте сохранена нумерация действующих Правил, но главы 3.10 и 3.11 объединены в одну главу.

Целью настоящей публикации является апробирование новых требований Правил Регистра к ледовым усилениям судов ледового плавания и ледоколов. Новая редакция Правил может быть использована вместо существующих требований Правил только по специальному согласованию с Регистром.

Предложения и замечания по проекту просим посылать по адресу: 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8, Главное управление Российского Морского Регистра Судоходства.

ЧАСТЬ I. КЛАССИФИКАЦИЯ

2.2.3 Знаки категорий ледовых усилений.

2.2.3.1 Знаки категорий ледовых усилений устанавливаются для ледоколов и судов ледового плавания.

Ледоколы — специализированные суда, предназначенные для проводки судов во льдах, прокладки канала, буксировки, оковки, выполнения спасательных работ.

Суда ледового плавания — суда, предназначенные для самостоятельного плавания во льдах или под проводкой ледокола.

2.2.3.2 Если ледокол удовлетворяет требованиям Правил, к основному символу класса добавляется один из следующих знаков категорий ледовых усиления: ЛЛ6, ЛЛ7, ЛЛ8, ЛЛ9.

Требования к минимальной мощности и ориенти́ровочные значения толщины сплошных ледяных полей, в которых способны продвигаться ледоколы перечисленных категорий, а также предполагаемые районы их эксплуатации указаны в табл. 2.2.3.2.

Таблица 2.2.3.2

Категория ледокола	Минимальная мощность на гребных валах, МВт	Толщина сплошного ледяного поля, в котором способен продвигаться ледокол, м	Предполагаемый район эксплуатации
ЛЛ6	—	До 1	Портовые и припортовые акватории, а также замерзающие неарктические моря совместно с ледоколами категорий ЛЛ7, ЛЛ8 или ЛЛ9
ЛЛ7	11	От 1 до 1,5	Неарктические замерзающие моря, мелководные и устьевые участки рек, впадающих в арктические моря, а также прибрежные трассы арктических морей совместно с ледоколами ЛЛ8 или ЛЛ9
ЛЛ8	22	От 1,5 до 2	Арктические моря в летний период; прибрежные трассы арктических морей в зимний
ЛЛ9	48	Более 2	период

2.2.3.3 Если самоходное судно ледового плавания удовлетворяет требованиям Правил, к основному символу класса добавляется один из следующих их знаков категорий ледовых усилений : Л1, Л2, Л3, Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9.

К основному символу класса несамоходного судна знак категории ледовых усилений не добавляется.

Категории Л1, Л2, Л3, образующие группу неарктических категорий, распространяются на суда, предназначенные только для плавания в замерзающих неарктических морях (неарктические суда).

Категории Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9, образующие группу арктических категорий, распространяются на суда, предназначенные для плавания в арктических морях (арктические суда).

2.2.3.4 При выборе категории ледовых усилений арктических судов рекомендуется использовать осредненную количественную информацию о допускаемых районах эксплуатации и условиях ледового плавания, представленную в табл. 2.2.3.4-1 — 2.2.3.4-3.

В табл. 2.2.3.4-1 допускаемые районы эксплуатации судов в российских арктических морях (Баренцевом, Карском, Лаптевых,

Восточно-Сибирском, Чукотском) устанавливаются в зависимости от сезона, способа ледового плавания и типа навигации.

В табл. 2.2.3.4-2 для судов арктических категорий указываются предельные типы льдов, в которых допустима их эксплуатация в зимне-весеннюю и летне-осеннюю навигацию.

В табл. 2.2.3.4-3 для судов арктических категорий приводится допустимая толщина ровного и среднеторошенного (торосистостью 3 балла по 5-балльной шкале) льда при двух характерных (для каждой категории) скоростях плавания: малой и средней.

Таблица 2.2.3.4-1

Допускаемые районы эксплуатации судов арктических категорий

Категория ледовых усиленных	Способ ледового плавания	Зимне-весенняя навигация в морях					Летне-осенняя навигация в морях				
		Баренцевом	Карском	Лаптевых	Вост.-Сибирском	Чукотском	Баренцевом	Карском	Лаптевых	Вост.-Сибирском	Чукотском
		ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ
Л4	СП	---+	----	+	*+++	*+++	*+++	+++	----	++++	++++
	ПЛ	-*++	---+	+++	—*++	*+++	*+++	+	*+++	++++	++++
Л5	СП	--++	---+	+	++++	++++	++++	+++	+++	++++	++++
	ПЛ	*+++	--*+	+++	++++	++++	++++	+	+	---+	---+
Л6	СП	*+++	---+	+	++++	++++	++++	+++	+++	---+	—*++
	ПЛ	++++	**++	----	----	----	++++	+	+	----	----
Л7	СП	++++	--++	----	----	---*	++++	+++	+++	*+++	*+++
	ПЛ	++++	+++	----	----	----	++++	+	+	----	----
Л8	СП	++++	+	---+	---+	—*+	++++	+++	+++	++++	++++
	ПЛ	++++	+++	---+	---+	---+	++++	+	+	++++	++++
Л9	СП	++++	+	—**+	—**+	—*++	++++	----	+++	++++	++++
	ПЛ	++++	+++	---+	---+	---+	++++	*+++	+	++++	++++
++++											

Таблица 2.2.3.4-2

Пределные типы и толщина льда для судов арктических категорий

Категория ледовых усилений	Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация
Л4	Тонкий однолетний, 2-я ступень	Средний однолетний до 1,0 м
Л5	Средний однолетний до 0,8 м	Средний однолетний
Л6	Средний однолетний	Толстый однолетний до 1,5 м
Л7	Толстый однолетний до 1,8 м	Двухлетний
Л8	Двухлетний	Многолетний
Л9	Многолетний	Многолетний

Примечание. Классификация льдов принята согласно «Номенклатуре морских льдов» Всемирной Метеорологической Организации:

Тип льда	Толщина льда
Многолетний	> 3,0 м
Двухлетний	> 2,0 м
Толстый однолетний	> 1,2 м
Средний однолетний	0,7 ÷ 1,2 м
Тонкий однолетний, 2-я ступень	0,5 ÷ 0,7 м

Таблица 2.2.3.4-3

Допустимая толщина льда для судов арктических категорий при характерных скоростях ледового плавания

Категория ледовых усиления	Малая скорость, v_m , уз	Толщина ровного (торошенного) льда, м		Средняя скорость, v_c , уз	Толщина ровного (торошенного) льда, м	
		Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация		Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация
Л4	3	0,7(0,55)	1,0(0,8)	6	0,6(0,5)	0,75(0,6)
Л5	4	0,9(0,75)	1,2(0,95)	8	0,75(0,6)	0,95(0,75)
Л6	4	1,3(1,0)	1,7(1,4)	8	1,05(0,85)	1,25(1,05)
Л7	4	1,95(1,55)	3,2	8	1,4(1,1)	1,7(1,4)
Л8	5	3,4	> 4	10	2,1(1,65)	3,1
Л9	6	> 4	> 4	12	3,5	> 4
Примечание. В качестве торошенного льда рассматривается лед средней торосистости (3 балла по 5-бальной шкале).						

2.2.3.5 При выборе категории ледовых усилений неарктических судов рекомендуется использовать осредненные данные о допустимой толщине мелкобитого льда при характерных скоростях ледового плавания, приведенные в табл. 2.2.3.5.

Таблица 2.2.3.5

Допустимая толщина (м) мелкобитого льда для судов неарктических категорий при характерных скоростях ледового плавания

Характерная скорость плавания, уз.	Категория ледовых усилений		
	Л1	Л2	Л3
3	0,5	0,75	1,0
5	0,4	0,55	0,7
8	0,35	0,45	0,55

ЧАСТЬ II. КОРПУС

3.10 ЛЕДОВЫЕ УСИЛЕНИЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

3.10.1 Общие положения и требования.

3.10.1.1 Область распространения.

.1 Требования настоящей главы применяются к самоходным судам ледового плавания и ледоколам, а также к судам, которые могут быть приравнены к ним по условиям плавания во льдах.

.2 Самоходные суда, имеющие ледовые усиления, удовлетворяющие требованиям настоящей главы, получают в символе класса знак категории ледовых усилений согласно 2.2.3 части I «Классификация».

.3 Требования настоящей главы являются дополнительными по отношению к требованиям других, применимых к данному судну, глав Правил и регламентируют минимально необходимый уровень прочности при действии ледовой нагрузки и конструкцию корпуса судна в зависимости от знака категории ледовых усилений в символе класса.

.4 Расчетные зависимости настоящей главы могут непосредственно применяться только для судов ледового плавания и ледоколов с традиционной формой обводов корпуса, удовлетворяющих требованиям 3.10.1.2. Возможность отступления от требований 3.10.1.2, а также использования нетрадиционной формы носовой оконечности (ложкообразной, плоскогранной и т.п.) является предметом специального рассмотрения Регистром.

.5 Регламентация допустимых условий плавания судна при его эксплуатации должна осуществляться на основе ледового паспорта судна, разработанного компетентной организацией и учитывающего форму обводов, конструкцию корпуса, предполагаемые район, сезон и тактику ледового плавания конкретного судна.

3.10.1.2 Требования к форме корпуса.

.1 Параметры формы корпуса α , α_0 , β , φ , град, должны измеряться в соответствии с рис. 3.10.1.2-1 — 3.10.1.2-4.

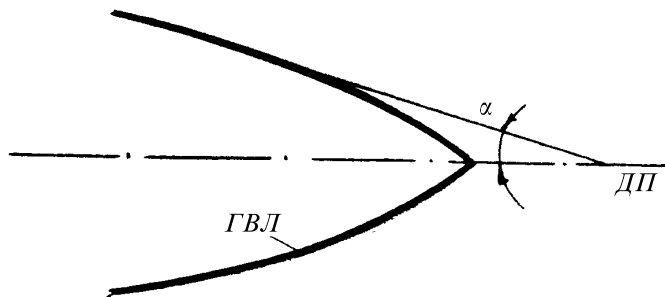


Рис. 3.10.1.2-1:

α — угол наклона летней грузовой ватерлинии в рассматриваемом сечении, град.

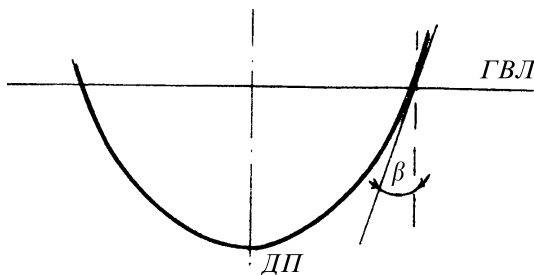


Рис.3.10.1.2-2:

β — угол наклона шпангоута к вертикали на уровне летней грузовой ватерлинии в рассматриваемом сечении, град.

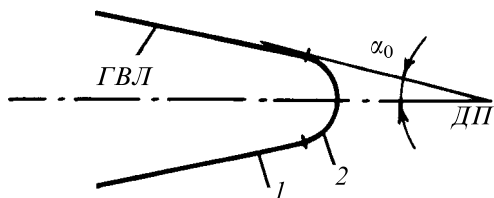


Рис.3.10.1.2-3:

α_0 — угол входа летней грузовой ватерлинии на носовом перпендикуляре, измеренный в точке соединения наружной обшивки с форштевнем, град;
1 — наружная обшивка, 2 — форштевень.

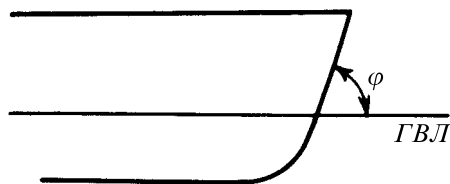


Рис.3.10.1.2-4:

φ — угол наклона форштевня на уровне летней грузовой ватерлинии, град.

.2 Значения параметров формы корпуса судов ледового плавания должны находиться в пределах, указанных в табл. 3.10.1.2.2.

Таблица 3.10.1.2.2

Параметр формы корпуса	Категория ледовых усилений				
	Л8, Л9	Л7, Л6	Л5	Л4	Л1, Л2, Л3
φ , не более	25°	30°	45°	60°	—
α_0 , не более	30°	30°	40°	40°	50°
β на расстоянии $0,05L$ от носового перпендикуляра, не менее	45°	40°	25°	20°	—
β на мидель-шпангоуте, не менее	15°	—	—	—	—

В носовом и промежуточном районах усиления судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 и ледоколов наружная обшивка не должна иметь участков, в пределах которых параметры формы β и α одновременно принимают значения $\beta = 0$ и $\alpha > 0$.

На судах категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 бульбообразные обводы носовой оконечности не допускаются. На судах категории Л4 наличие таких обводов является предметом специального рассмотрения Регистром.

3 Значения параметров формы корпуса ледоколов должны удовлетворять следующим требованиям:

В районе $0 \div 0,25L$ от носового перпендикуляра в пределах эксплуатационных осадок применяются прямые и выпуклые ватерлинии. Угол входа указанных ватерлиний α_0 должен находиться в диапазоне $\alpha_0 = 22^\circ \div 30^\circ$.

Угол φ в пределах эксплуатационных осадок не должен превышать:

30° для ледоколов категорий ЛЛ6, ЛЛ7;

25° для ледоколов категорий ЛЛ8, ЛЛ9.

Поперечное сечение форштевня выполняется в виде трапеции с выпуклой передней гранью.

Для ледоколов с традиционной формой носовой оконечности рекомендуется выполнять углы наклона шпангоутов в соответствии с табл. 3.10.1.2.3-1. При отступлении от требований табл. 3.10.1.2.3-1 величина ледовых нагрузок должна быть предметом специального рассмотрения Регистром.

Таблица 3.10.1.2.3-1

Сечение от носового перпендикуляра	0,1L	0,2 ÷ 0,25L	0,4 ÷ 0,6L	0,8 ÷ 1,0L
Допустимый диапазон изменения угла β , град.	$40^\circ \div 55^\circ$	$23^\circ \div 32^\circ$	$15^\circ \div 20^\circ$	Приблизительно соответствовать углам β в районе $0 \div 0,2L$

Форма шпангоутов в районе конструктивной ватерлинии принимается прямолинейной или умеренно выпуклой.

Проекция конструктивной ватерлинии на горизонтальную плоскость должна перекрывать концы лопастей бортовых гребных винтов.

Зазор между концами лопастей и обшивкой должен быть не менее указанного в табл. 3.10.1.2.3-2.

Таблица 3.10.1.2.3-2

Зазор (мм)	Категория ледокола			
	ЛЛ9	ЛЛ8	ЛЛ7	ЛЛ6
δ	1500	1250	750	500

.4 В кормовой части ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должен быть предусмотрен выступ (ледовый зуб), расположенный в корму от руля для его защиты на заднем ходу.

.5 Для ледоколов и судов категорий Л6, Л7, Л8, Л9 использование транцевой кормы (с транцем, попадающим в район ледовых усиления) не допускается. Для судов категорий Л4 и Л5 с транцевой кормой величина ледовых нагрузок на транец является предметом специального рассмотрения Регистром.

.6 Для ледоколов и судов категорий Л6, Л7, Л8, Л9 должен быть предусмотрен уступ в нижней части форштевня. Высота уступа должна составлять не менее $0,1d$. Переход уступа в наклонную часть форштевня должен быть плавным.

3.10.1.3 Районы ледовых усиления.

.1 По длине корпуса районы ледовых усиления подразделяются на:

- носовой — А;
- промежуточный — А₁;
- средний — В;
- кормовой — С.

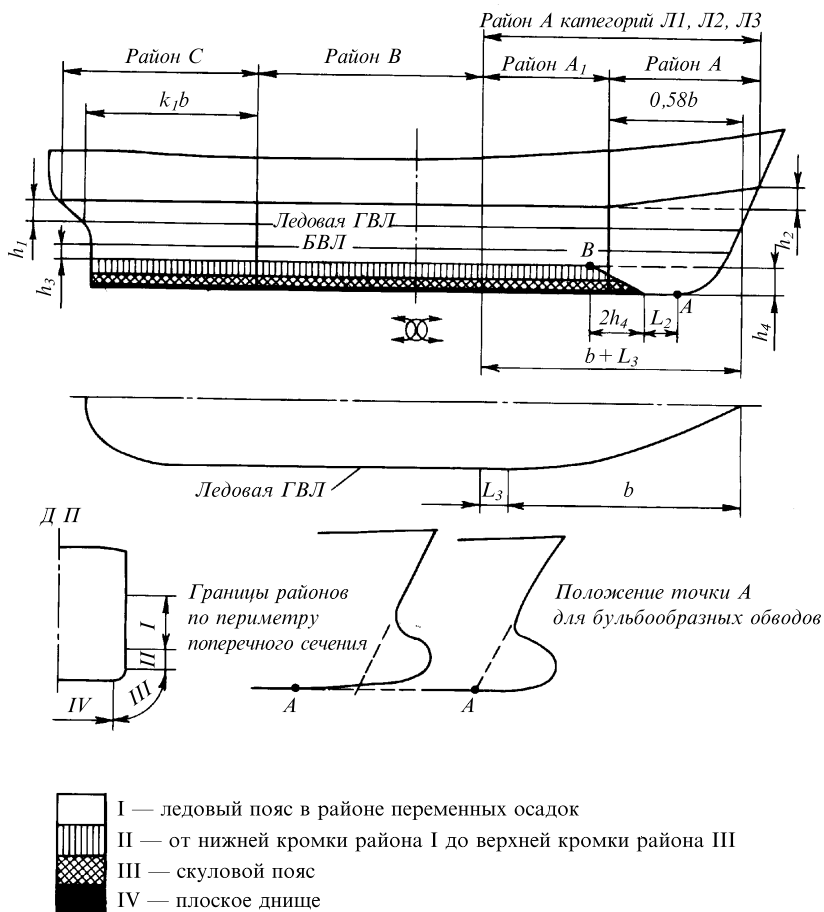
По высоте борта и по днищу районы ледовых усиления подразделяются на:

- район переменных осадок и приравненные к нему районы — I;
- от нижней кромки района I до верхней кромки скулового пояса — II;
- скуловой пояс — III;
- от нижней кромки скулового пояса до диаметральной плоскости — IV;

.2 Протяженность районов ледовых усиления судов ледового плавания определяется согласно рис. 3.10.1.3.2 и табл. 3.10.1.3.2.

Ледовая ГВЛ определяется как огибающая сверху всех возможных в процессе ледовой эксплуатации судна ватерлиний (без крена).

Для судов категорий Л1, Л2, Л3 промежуточный район усиления не выделяется. В этом случае следует считать, что кормовая граница носового района совпадает с носовой границей среднего района усиления.



b — расстояние от носового перпендикуляра до сечения, в котором ледовая ГВЛ имеет наибольшую ширину, но не более $0,4L$.

Примечания:

1. Для судов категории Л1 нижняя граница района А расположена на расстоянии h_3 от ватерлинии судна в балласте.
2. Точка В не должна располагаться далее кормовой границы района А₁.

Рис. 3.10.1.3.2
Районы ледовых усиления судов ледового плавания

Таблица 3.10.1.3.2

Параметр		Категория ледовых усилений					
		Л7, Л8, Л9	Л5, Л6	Л4	Л3	Л2	Л1
h_1 (м)	при $B \leq 20$ м	0,75		0,60	0,50		
	при $B > 20$ м	$\frac{0,5B+8}{24}$		$\frac{0,5B+8}{30}$	$\frac{0,5B+8}{36}$		0,50
h_2 (м)		1,4	0,8	0,6	0,2		
h_3 (м)		$1,6h_1$	$1,35h_1$	$1,20h_1$	$1,10h_1$	h_1	
L_2 (м)		$0,15L$	$0,1L$	$0,05L$	$0,02L$		—
L_3 (м)		$0,06L$	$0,05L$	$0,045L$	$0,04L$	$0,02L$	
k_1		0,84	0,69	0,55	0,53	0,50	—

3 Протяженность районов ледовых усилений ледоколов определяется согласно рис. 3.10.1.3.3 и табл. 3.10.1.3.3.

Таблица 3.10.1.3.3

Параметр		Категория ледокола			
		ЛЛ9	ЛЛ8	ЛЛ7	ЛЛ6
h_1 (м)	при $B \leq 20$ м	1,00	0,80	0,75	
	при $B > 20$ м	$\frac{0,5B+12}{22}$	$\frac{0,5B+7,6}{22}$	$\frac{0,5B+8}{24}$	
h_2 (м)		2	1,7	1,4	1,1
h_3 (м)		$1,9 + 1,6h_1 \geq 3,5$	$1,72 + 1,6h_1 \geq 3,0$	$1,6 + 1,6h_1 \geq 2,8$	$0,4 + 1,6h_1 \geq 1,6$

4 В зависимости от категории ледовых усилений требования главы распространяются на районы усиления, отмеченные в табл. 3.10.1.3.4 знаком «+». Отсутствие в графе табл. 3.10.1.3.4 знака «+» означает, что на данный район усиления требования главы не распространяются.

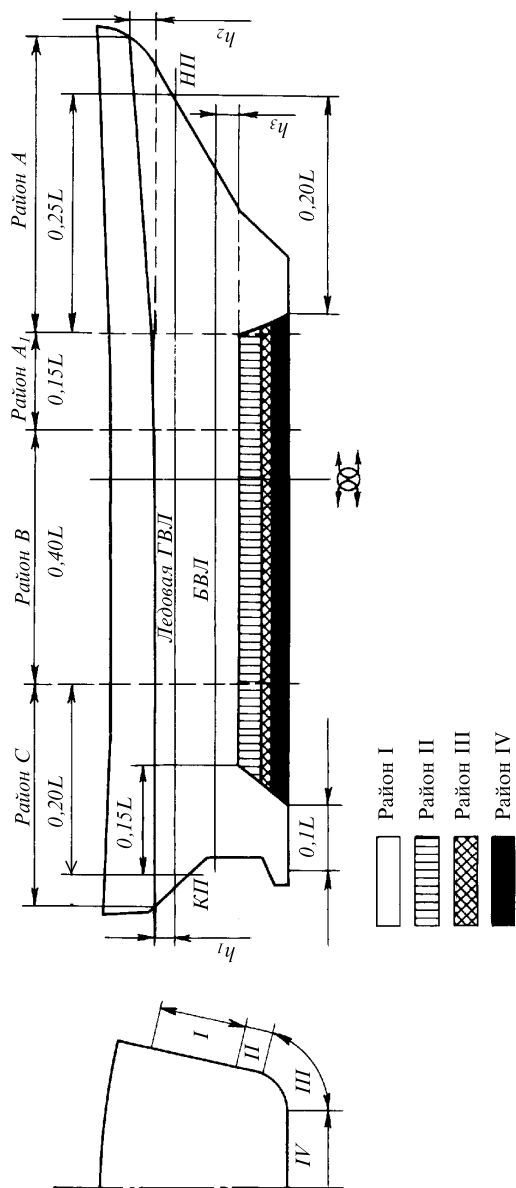


Рис. 3.10.1.3.3 Районы ледовых усилений ледоколов

Таблица 3.10.1.3.4

Категория ледовых усилений	Район по высоте борта															
	I				II				III				IV			
	Район по длине судна															
	A	A ₁	B	C	A	A ₁	B	C	A	A ₁	B	C	A	A ₁	B	C
ЛЛ9, ЛЛ8, ЛЛ7, Л9, Л8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Л7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
ЛЛ6, Л6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Л5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		
Л4	+	+	+	+	+	+	+		+	+			+	+		
Л3	+		+	+	+											
Л2	+		+	+												
Л1	+															

3.10.2 Конструкция.

3.10.2.1 Конструкция бортовых перекрытий с поперечной системой набора.

1 Перекрытие может включать вертикальные балки основного набора, называемые обыкновенными шпангоутами, вертикальные рамные связи, называемые рамными шпангоутами и продольные балки, называемые стрингерами.

Обыкновенные шпангоуты разделяются на:

- основные, расположенные в плоскости флоров или скуловых бракет;
- промежуточные, не расположенные в плоскости флоров или скуловых бракет.

Наличие в перекрытии промежуточных шпангоутов не обязательно.

Между каждыми двумя соседними основными шпангоутами допускается установка не более одного промежуточного шпангоута.

Стрингеры разделяются на:

- разносящие, обеспечивающие совместную работу шпангоутов при воздействии локальных ледовых нагрузок. Разносящие стрингеры рекомендуется выполнять интеркостельными;

— несущие, обеспечивающие передачу усилий от непосредственно воспринимающих ледовую нагрузку обыкновенных шпангоутов на рамные шпангоуты или поперечные переборки.

Допускаются следующие конструкции бортовых перекрытий:

— перекрытие с монотонной поперечной системой набора. Состоит из обыкновенных шпангоутов одинакового профиля и разносящих интеркостельных стрингеров;

— перекрытие с рамной поперечной системой набора. Состоит из обыкновенных шпангоутов, несущих стрингеров и рамных шпангоутов. Наряду с несущими стрингерами допускается установка разносящих стрингеров.

При наличии двойного борта роль рамных шпангоутов выполняют вертикальные диафрагмы, несущих стрингеров — горизонтальные диафрагмы.

2 На ледоколах и судах категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 шпангоуты должны крепиться к палубам и платформам кницами; если шпангоут разрезан на палубе, платформе или несущем стрингере, кницы устанавливаются с обеих сторон.

3 Крепление концов основных шпангоутов должно удовлетворять требованиям 2.5.5. На ледоколах на каждом основном шпангоуте должны быть установлены сплошные флоры. На судах категорий Л8, Л9 сплошные флоры должны быть установлены на каждом втором основном шпангоуте.

Крепление концов промежуточных шпангоутов должно удовлетворять следующим требованиям.

Нижние концы промежуточных шпангоутов ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должны быть закреплены на крайнем междудонном листе, подкрепленном облегченной скуловой бракетой

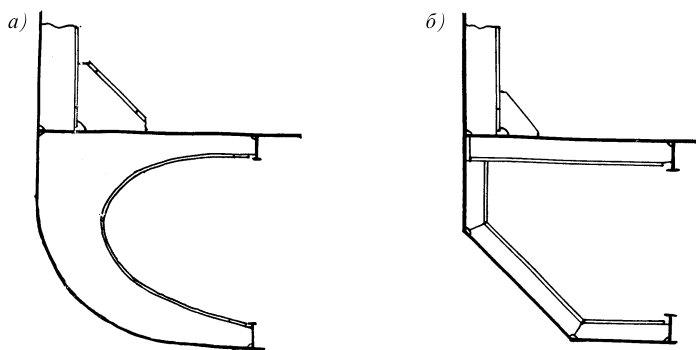


Рис.3.10.2.1.3-1

a — облегченная скуловая bracket;
б — система ребер.

(или системой ребер), доходящей до продольных ребер или интеркостельных связей и приваренной к ним (рис. 3.10.2.1.3-1).

При отсутствии второго дна промежуточные шпангоуты должны быть продлены до продольных ребер или интеркостельных связей и приварены к ним. Указанное продольное ребро или интеркостельная связь должны быть установлены не выше уровня поясков флоров.

На судах категорий Л1, Л2, Л3 при монотонной системе набора допускается закрепление нижних концов промежуточных шпангоутов на продольной интеркостельной связи, установленной на 1000 мм ниже нижней границы района I.

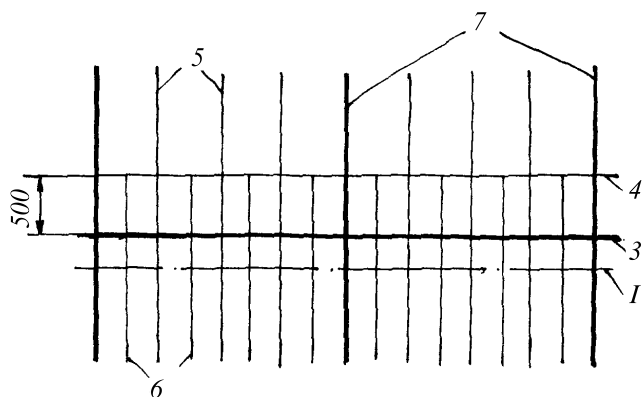
При системе набора с рамными шпангоутами на судах категорий Л1, Л2, Л3, за исключением района А категории Л3, допускается закрепление нижних концов промежуточных шпангоутов на продольной связи (которая может выполняться интеркостельной), установленной на 1000 мм ниже несущего стрингера, располагающегося ниже нижней границы района I (рис. 3.10.2.1.3-2). При этом площадь стенки и пластический момент сопротивления указанного несущего стрингера должны быть не менее требуемых для стрингера, установленного в районе I.

Верхние концы промежуточных шпангоутов у ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должны быть закреплены на палубе или платформе, расположенной выше верхней границы района I. На судах категорий Л1, Л2, Л3 при монотонной системе набора допускается закрепление верхних концов промежуточных шпангоутов на продольной интеркостельной связи, установленной на 500 мм выше верхней границы района I.

При системе набора с рамными шпангоутами на судах категорий Л1, Л2, Л3 допускается закрепление верхних концов промежуточных шпангоутов на продольной связи (которая может выполняться интеркостельной), установленной на 500 мм выше несущего стрингера, располагающегося выше верхней границы района I (см. рис. 3.10.2.1.3-2). При этом площадь стенки и предельный момент сопротивления указанного несущего стрингера должны быть не менее требуемых для стрингера, установленного в районе I.

4 На ледоколах и судах категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 в районах I и II от переборки форпика до переборки ахтерпика должны быть установлены разносящие и (или) несущие бортовые стрингеры, расстояние между которыми или расстояние между стрингером и палубой или платформой, измеренное по хорде обвода борта, не должно превышать 2 м.

На судах категорий Л1, Л2, Л3 в районе I это расстояние не должно превышать 3 м.



Район I

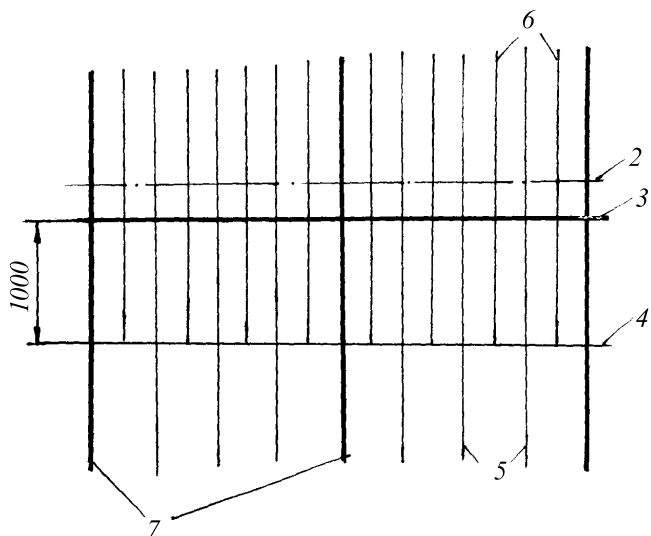


Рис. 3.10.2.1.3-2

Допустимый способ крепления промежуточных шпангоутов на судах категорий Л1, Л2, Л3 при системе набора с рамными шпангоутами:

- 1 — верхняя граница района I; 2 — нижняя граница района I;
 3 — несущий стрингер; 4 — продольная интеркостельная связь;
 5 — основные шпангоуты; 6 — промежуточные шпангоуты; 7 — рамные шпангоуты.

По высоте борта стрингеры должны располагаться в районах грузовой и балластной ватерлиний. Если на этом уровне располагается палуба или платформа, то установка стрингера не требуется. Стрингеры должны крепиться к переборкам при помощи книц.

3.10.2.2 Определение опорных сечений балок в перекрытиях с поперечной системой набора.

.1 Опорные сечения обыкновенных и рамных шпангоутов образуются только на опорных конструкциях.

Опорными конструкциями для шпангоутов считаются горизонтальные перекрытия (палубы, платформы, днище). Опорная конструкция состоит из настила (палуб, платформ, второго дна) и соединенного с ним набора (бимсы, полубимсы, флоры, скуловые бракетты). При отсутствии второго дна использование приводимых ниже формулировок следует осуществлять в предположении, что настил условно расположен на уровне свободных поясков флоров.

.2 Опорное сечение обыкновенного шпангоута считается защищенным, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- шпангоут соединен с набором опорной конструкции;
- шпангоут пересекает настил опорной конструкции.

Опорное сечение считается свободно опертым, если обыкновенный шпангоут не соединен с набором опорной конструкции и закончен на ее настиле.

Если обыкновенный шпангоут оканчивается на продольной интеркостельной связи (разносящем стрингере), то его конец считается свободным, то есть опорное сечение отсутствует.

.3 Положение опорного сечения шпангоута (обыкновенного или рамного) определяется следующим образом.

Если шпангоут соединен только с настилом опорной конструкции, то опорное сечение совпадает с плоскостью настила.

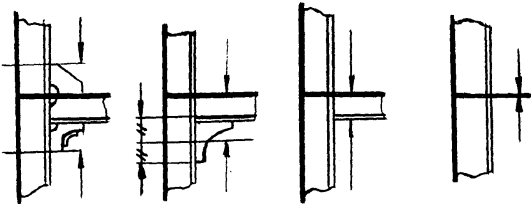
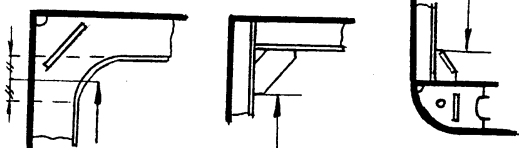
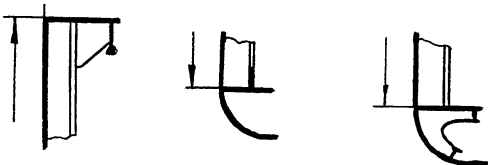
Если шпангоут соединен с набором опорной конструкции, то опорное сечение:

- совпадает с плоскостью свободного пояска балки опорной конструкции при бесконечном соединении;
- располагается у конца кницы при установке книц с прямолинейной или скругленной подкрепленной кромкой;
- располагается посередине катета кницы при установке книц со скругленной свободной кромкой.

.4 При определении условий закрепления и положения опорных сечений типовых конструкций наряду с требованиями 3.10.2.2.2 и 3.10.2.2.3

рекомендуется руководствоваться данными табл. 3.10.2.2 (положение опорного сечения на эскизах табл. 3.10.2.2 указано стрелкой).

Таблица 3.10.2.2

Вид узла в районе опорного сечения шпангоута	Вид опорного сечения	Эскиз конструкции и положение опорного сечения
Пересечение опорной конструкции	Зашемленное	
Закрепление на опорной конструкции с соединением с ее набором	Зашемленное	
Закрепление на опорной конструкции без соединения с ее набором	Свободно опертное	
Закрепление на продольной интеркостельной связи	Свободный конец	 Опорное сечение отсутствует

3.10.2.3 Конструкция бортовых перекрытий с продольной системой набора.

.1 Допускается конструкция бортового перекрытия с продольной системой набора, состоящего из продольных балок и рамных шпангоутов. Между рамными шпангоутами могут быть установлены дополнительные интеркостельные шпангоуты (см. 3.10.2.3.3).

При наличии двойного борта роль рамных шпангоутов выполняют вертикальные диафрагмы. Если в конструкции двойного борта имеются горизонтальные диафрагмы, они рассматриваются как платформы; на них распространяются требования 3.10.2.4 и 3.10.4.9 к платформам. Применение продольной системы набора на ледоколах и судах категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 не рекомендуется.

.2 Продольные балки, разрезаемые на листовых конструкциях (см. 3.10.2.4), должны с обеих сторон от листовой конструкции крепиться кницами. а стенки продольных балок должны привариваться к листовой конструкции.

.3 Установка дополнительных шпангоутов требуется на ледоколах и судах категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 в случае, если расстояние между рамными шпангоутами превышает 2,0 м.

Независимо от категории ледовых усилений способ закрепления концов дополнительных шпангоутов применяется тот же, что и для промежуточных шпангоутов судов категорий Л1, Л2, Л3 при поперечной монотонной системе набора согласно 3.10.2.1.3.

3.10.2.4 Листовые конструкции.

.1 Под листовыми конструкциями понимаются прилегающие к наружной обшивке участки настилов палуб, платформ и второго дна, обшивки поперечных переборок, стенок рамных шпангоутов, несущих бортовых и днищевых стрингеров, вертикального киля, сплошных и облегченных флоров, скуловых бракет.

.2 Для перечисленных в 3.10.2.4.1 корпусных связей устанавливаются следующие размеры участков, на которые распространяются требования к листовым конструкциям:

— переборки форпика и ахтерпика ледоколов и судов категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 — на всей ширине; остальных категорий — на ширине 1,2 м от наружной обшивки;

— прочие переборки в районах I, II ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9, палубы и платформы ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 — на ширине 1,2 м от наружной обшивки;

— остальные связи — на ширине 0,6 м от наружной обшивки.

3 На участках листовых конструкций, указанных в 3.10.2.4.2, не допускается использование гофрированных конструкций с расположением гофров вдоль наружной обшивки (то есть не допускаются вертикальные гофры на поперечных переборках и продольные гофры на палубах или платформах).

4 Листовые конструкции ледоколов, судов категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9, а также района I судов категории Л4 должны подкрепляться ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке. При этом расстояние между ребрами жесткости не должно превышать значений, указанных в табл. 3.10.2.4.4.

Таблица 3.10.2.4.4

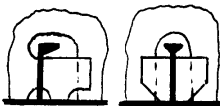
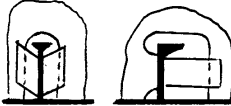
Ориентация основного набора, установленного по наружной обшивке	Наибольшее расстояние между ребрами жесткости	
	Ледоколы, Л5 (район I), Л6, Л7, Л8, Л9	Л5 (кроме района I), Л4 (район I)
Основной набор пересекает листовую конструкцию	a , но не более 0,5 м	$2a$, но не более 1,0 м
Основной набор параллелен листовой конструкции	0,6 м	0,8 м
Примечание. a — расстояние между балками основного набора по наружной обшивке.		

Листовые конструкции судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4 (кроме района I) допускается подкреплять ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к параллельному наружной обшивке.

5 Узлы пересечения листовых конструкций с основным набором должны выполняться согласно табл. 3.10.2.4.5. При этом подкрепляющие листовую конструкцию ребра жесткости, расположенные в плоскости балок основного набора, должны быть закреплены на указанных балках. Возможно использование других способов соединения стенок балок основного набора с листовой конструкцией, признанных Регистром эквивалентными.

6 Если балки основного набора разрезаются на листовой конструкции, то в плоскости каждой балки с обеих сторон листовой

Таблица 3.10.2.4.5

Категория ледовых усилений	Эскиз конструкции		
			
ЛЛ9, ЛЛ8	Форпик, ахтерпик, район I, продольная система набора в районе II	Районы II, АIII, А ₁ III, СIII, AIV, А ₁ IV	Прочие районы согласно табл. 3.10.1.3.4
ЛЛ7, ЛЛ6	Форпик, ахтерпик, продольная система набора в районах I, II	Районы I и II (исключая форпик и ахтерпик), АIII, А ₁ III, СIII	То же
Л9, Л8, Л7	Форпик, продольная система набора в районе I	Районы I и II (исключая форпик), АIII, AIV, А ₁ IV, А ₁ III	То же
Л6, Л5	Форпик, продольная система набора в районах AI, А ₁ I, BI	Районы I (исключая форпик), II, АIII, А ₁ III	То же
Л4	—	Районы I, АII, А ₁ II, АIII, А ₁ III	То же
Л3, Л2, Л1	—	—	Все районы
Примечание. Ребра, подкрепляющие листовую конструкцию, а также кницы, регламентируемые 3.10.2.4, на эскизах условно не показаны.			

конструкции должны быть установлены кницы, а стенки балки должны быть приварены к листовой конструкции.

.7 К узлам пересечения (соединения) листовых конструкций палуб и платформ с основным набором предъявляются следующие дополнительные требования.

При поперечной системе набора борта шпангоуты должны крепиться к бимсам при помощи книц. На судах категорий Л5 (только в районе I), Л6, Л7, Л8, Л9 бимсы должны устанавливаться в плоскости каждого шпангоута (см. также табл. 3.10.2.4.4).

На судах категорий Л5 (кроме района I) и Л4 (район I) шпангоут, в плоскости которого не установлен бимс, должен быть закреплен на листовой конструкции кницами, которые должны заканчиваться на интеркостельном ребре.

При продольной системе набора борта бимсы должны крепиться к наружной обшивке борта кницами, доведенными до ближайшей продольной балки.

.8 Расстояние от кромки выреза или лаза в листовой конструкции до наружной обшивки должно быть не менее 0,5 м. Расстояние от кромки выреза или лаза в листовой конструкции до кромки выреза для прохода балки через листовую конструкцию должно быть не менее высоты этой балки.

3.10.2.5 Конструкция форпика и ахтерпика.

.1 В форпике и ахтерпике ледаколов и судов категорий Л8, Л9 в диаметральной плоскости должна быть установлена продольная переборка, приваренная к форштевню или ахтерштевню, а нижние концы всех шпангоутов должны быть соединены с флорами или бракетами.

.2 В форпике ледаколов и судов категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 вместо стрингеров и рядов распорных бимсов (см. 2.8.2.3) следует устанавливать платформы с облегчающими вырезами, расстояние между которыми, измеренное по хорде обвода борта, не должно превышать 2,0 м. Рекомендуется применять указанную конструкцию и для судов категории Л4.

.3 Бортовые стрингеры и распорные бимсы в ахтерпике (см. 2.8.2.10) ледаколов и судов категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должны быть установлены так, чтобы расстояние между стрингерами, измеренное по хорде обвода борта, было не более 2,0 м. Размеры стенок стрингеров должны быть не менее определенных по формулам:

- высота $h = 5L + 400$ мм;
- толщина $s = 0,05L + 7$ мм.

Вместо рядов распорных бимсов и стрингеров рекомендуется применять платформы с облегчающими вырезами.

.4 На ледаколах и судах категорий Л6, Л7, Л8, Л9 бортовые стрингеры в форпике и ахтерпике, как правило, должны быть продолжением бортовых стрингеров, установленных в районах А и С (см. 3.10.2.1.4).

.5 Для судов категории Л4 площадь и момент инерции распорных бимсов должны быть увеличены на 25 % по сравнению с требуемыми согласно 2.9.4. Размеры стенок стрингеров должны быть не менее определяемых по формулам:

- высота $h = 3L + 400$ мм;
- толщина $s = 0,04L + 6,5$ мм.

.6 Бортовые стрингеры в форпике и ахтерпике должны иметь по свободной кромке поясok толщиной не менее толщины стенки и

шириной не менее десяти толщин. Узлы пересечения шпангоутов со стрингерами должны соответствовать табл. 3.10.2.4.5, а кницы должны доводиться до свободного пояса стрингера.

3.10.2.6 Конструкция штевней.

.1 Суда категорий Л6, Л7, Л8, Л9 должны иметь стальной форштевень сплошного поперечного сечения (рекомендуется литой). Форштевень и ахтерштевень ледоколов, а также ахтерштевень судов категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должны быть выполнены из ковanej или литой стали. Допускается применение форштевней и ахтерштевней, свариваемых из отдельных литых или кованных частей.

.2 У судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4, Л5 допускается применение форштевней комбинированной (из бруска или прутка с приваренными к нему утолщенными листами) или листовой конструкции, а при длине судна менее 150 м и острых носовых обводах может применяться конструкция согласно рис. 3.10.2.6 (величина s определяется по формуле (3.10.4.10.1-3)).

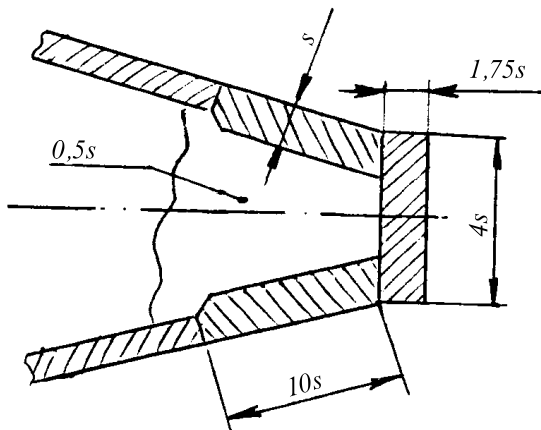


Рис. 3.10.2.6

У судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4 допускается применение ахтерштевней комбинированной конструкции.

.3 У судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4, Л5, Л6, Л7 на всем протяжении от киля до ближайшей палубы или платформы, расположенной выше уровня H_1 , указанного в 3.10.4.10 и табл. 3.10.4.10.1, форштевень, если это возможно, должен быть подкреплён вертикальным листом высотой не менее h_s (см. табл. 3.10.4.10.1) с пояском по свободной кромке или продольной переборкой в диаметральной плоскости. Толщина этого листа должна быть не менее толщины бракет, подкрепляющих форштевень (см. 3.10.2.6.4). На ледоколах и судах категорий Л8, Л9 вместо вертикального листа должна устанавливаться продольная переборка.

.4 На участке форштевня, указанном в 3.10.2.6.3, не реже чем через 0,6 м друг от друга должны быть установлены поперечные бракеты высотой не менее 0,6 м, которые должны доходить до ближайшего шпангоута и соединяться с ним. Бракеты, устанавливаемые в плоскости бортовых стрингеров, должны соединяться с ними. У форштевня комбинированной или листовой конструкции бракеты должны перекрывать стык листов форштевня и наружной обшивки. Выше палубы или платформы, расположенной на расстоянии не менее величины H_1 (см. 3.10.4.10.1 и табл. 3.10.4.10.1) над верхней границей района I расстояние между бракетами может постепенно увеличиваться до 1,2 м для ледоколов и судов категорий Л7, Л8, Л9 и до 1,5 м — для судов прочих категорий.

Толщину бракет следует принимать не менее половины толщины листов форштевня. Свободные кромки бракет на ледоколах и судах категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должны быть подкреплены поясками, концы которых должны привариваться к шпангоутам. Бортовые стрингеры в форпике должны соединяться с бракетами, установленными в их плоскости.

При малой остроте обводов носовой оконечности может быть дополнительно потребована установка на листы форштевня вертикальных ребер жесткости.

.5 При наличии противоледового выступа ахтерштевня зазор между ним и пером руля должен быть не более 100 мм. Противоледовый выступ должен быть надежно соединен с ахтерштевнем. Закреплять противоледовый выступ на листовых конструкциях не допускается.

.6 У ледоколов нижняя пятка ахтерштевня должна быть приподнята над основной линией с уклоном 1:8, начиная от старнпоста.

3.10.2.7 Конструкция днищевого перекрытия.

.1 На ледоколах и судах категорий Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 от переборки форпика до переборки ахтерпика должно быть установлено двойное дно.

.2 На ледоколах сплошные флоры должны быть установлены на каждом основном шпангоуте, на судах категорий Л8, Л9 — на каждом втором основном шпангоуте.

.3 В установленных согласно табл. 3.10.1.3.4 районах ледовых усиления по днищу не допускается использование бракетных флоров.

.4 На ледоколах и судах категорий Л8, Л9 высота вертикального киля должна быть не менее определяемой по формуле

$$h = \varphi(9L + 800) \text{ мм}, \quad (3.10.2.7.3)$$

где $\varphi = 0,8$ — для судов категории Л8;
 $\varphi = 0,9$ — для судов категории Л9;
 $\varphi = 1$ — для ледоколов.

.5 На ледоколах и судах категорий Л8, Л9 расстояние между днищами стрингерами не должно превышать 3,0 м.

3.10.2.8 Специальные требования.

.1 На ледоколах от форпиковой до ахтерпиковой переборки, как правило, должен быть установлен двойной борт.

.2 На судах категорий Л7, Л8, Л9 требуется установка двойного борта в машинном отделении, а также рекомендуется установка двойного борта в районе, указанном в 3.10.2.8.1.

.3 Если стенка балки или листовая конструкция значительно наклонена к наружной обшивке (угол между ними менее 50°), то рекомендуется перейти к поворотному набору или наклонной листовой конструкции (рис. 3.10.2.8.3). В противном случае должны быть приняты специальные меры по предотвращению заваливания балки или выпучивания листовой конструкции.

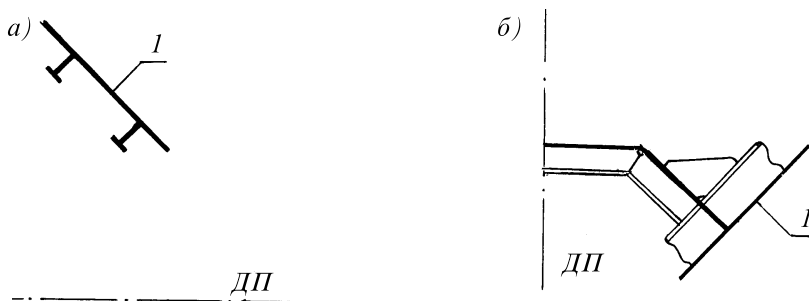


Рис. 3.10.2.8.3

a — поворотный набор; b — наклонная листовая конструкция;
 1 — наружная обшивка.

3.10.3 Ледовая нагрузка.

3.10.3.1 Ледовая нагрузка — условная расчетная нагрузка на корпус судна от воздействия льда, определяющая уровень требований к размерам конструкций в зависимости от знака категории ледовых усиления, формы корпуса и водоизмещения судна.

Ледовая нагрузка определяется тремя параметрами:

p — интенсивность ледовой нагрузки, характеризующая величину максимального давления в зоне силового контакта корпуса со льдом, кПа;

b — высота распределения ледовой нагрузки, характеризующая максимальный поперечный размер зоны силового контакта корпуса со льдом, м;

$l^{\text{п}}$ — длина распределения ледовой нагрузки, характеризующая максимальный продольный размер зоны силового контакта корпуса со льдом, м.

Ледовая нагрузка предназначена только для определения размеров элементов конструкций ледовых усиления по формулам настоящей главы. Использование параметров ледовой нагрузки для проверочных расчетов прочности по иным методикам и программам без согласования с Регистром не допускается.

Параметры ледовой нагрузки судов ледового плавания определяются согласно 3.10.3.2 и 3.10.3.3, ледоколов — согласно 3.10.3.4 и 3.10.3.5.

3.10.3.2 Интенсивность ледовой нагрузки, кПа, для судов ледового плавания определяется по формулам, приведенным ниже.

.1 В районе АI

$$p_{\text{AI}} = 2500 a_1 v_m^6 \sqrt{\frac{A}{1000}}, \quad (3.10.3.2.1)$$

где a_1 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.2.1 в зависимости от категории ледовых усиления;

A — водоизмещение по летнюю грузовую ватерлинию, т;

v_m — максимальное, в пределах района, значение коэффициента формы v , определяемого в сечениях $x=0; 0,05L; 0,1L...$ и др. от носового перпендикуляра на уровне летней грузовой ватерлинии в пределах носового заострения (для судов категорий Л1, Л2, Л3 в рассмотрение включаются только расчетные сечения с $x \leq 0,58b$, где b — см. рис. 3.10.1.3.2) по формулам:

$$v = (0,278 + \frac{0,18x}{L})^4 \sqrt{\frac{\alpha^2}{\beta}} \text{ при } \frac{x}{L} \leq 0,25;$$

$$v = (0,343 - \frac{0,08x}{L})^4 \sqrt{\frac{\alpha^2}{\beta}} \text{ при } \frac{x}{L} > 0,25;$$

x — отстояние рассматриваемого сечения от носового перпендикуляра, м;

- α — углы наклона летней грузовой ватерлинии, измеряемые согласно рис. 3.10.1.2-1 и 3.10.1.2-3 (при $x=0$), град.;
- β — углы наклона шпангоутов на уровне летней грузовой ватерлинии, измеряемые согласно рис. 3.10.1.2-2, град.; если шпангоут в расчетном сечении имеет вогнутую форму, то для судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 в качестве β выбирается минимальный угол, измеренный на уровне возможных эксплуатационных ватерлиний.

Если в расчетном сечении судов категорий Л1, Л2, Л3 $\alpha > 0$ и $\beta = 0$, то следует полагать, что в этом сечении $v = 0,72$.

Если в расчетном сечении судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4, Л5 угол α меньше 3° , допускается не включать это сечение в рассмотрение при вычислении v_m .

.2 В районе A_1I

$$p_{A_1I} = 2500a_2v_m^6\sqrt{\frac{A}{1000}}, \quad (3.10.3.2.2-1)$$

где a_2 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.2.1 в зависимости от категории ледовых усилий;

v_m — определяется способом, указанным в 3.10.3.2.1;

A — см. 3.10.3.2.1.

Таблица 3.10.3.2.1

Коэффициент	Категория ледовых усилий								
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9
a_1	0,36	0,49	0,61	0,79	1,15	1,89	2,95	5,3	7,9
a_2	—	—	—	0,80	1,17	1,92	3,06	5,75	8,95
a_3	—	0,22	0,33	0,50	0,78	1,2	1,84	3,7	5,6
a_4	—	0,5	0,63	0,75	0,87	1	—	—	—

Во всех случаях интенсивность p_{A_1I} должна быть не менее:

$$p_{A_1I} = p_{BI} b_B / b_{A_1}, \quad (3.10.3.2.2-2)$$

где p_{BI} — см. 3.10.3.2.3;

b_{A_1} — см. 3.10.3.3.2;

b_B — см. 3.10.3.3.3.

.3 В районе ВІ

$$p_{\text{ВІ}} = 1500 a_3 \sqrt[6]{\frac{A}{1000}}, \quad (3.10.3.2.3)$$

где a_3 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.2.1 в зависимости от категории ледовых усилений;
 A — см. 3.10.3.2.1.

.4 В районе СІ для судов категорий Л2, Л3, Л4, Л5, Л6

$$p_{\text{СІ}} = a_4 p_{\text{ВІ}}, \quad (3.10.3.2.4-1)$$

где a_4 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.2.1 в зависимости от категории ледовых усилений;
 $p_{\text{ВІ}}$ — см. 3.10.3.2.3.

В районе СІ для судов категорий Л7, Л8, Л9 интенсивность ледовой нагрузки определяется по формуле

$$p_{\text{СІ}} = 0,75 p_{\text{АІ}}, \quad (3.10.3.2.4-2)$$

где $p_{\text{АІ}}$ — см. 3.10.3.2.1.

.5 В районах ІІ, ІІІ и ІV интенсивность ледовой нагрузки определяется как часть интенсивности ледовой нагрузки района І в соответствующем районе по длине:

$$p_{kl} = a_{kl} \cdot p_{kI}, \quad (3.10.3.2.5)$$

где $k = \text{A, A}_1, \text{B, C};$
 $l = \text{ІІ, ІІІ, ІV};$
 a_{kl} — коэффициент по табл. 3.10.3.2.5.

3.10.3.3 Высота распределения ледовой нагрузки, м, определяется по формулам, приведенным ниже:

.1 В районах АІ, АІІ, АІІІ, АІV

$$b_A = C_1 k_A u_m, \quad (3.10.3.3.1)$$

где C_1 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.3.1 в зависимости от категории ледовых усилений;

$$k_A = \sqrt[3]{\frac{A}{1000}}, \quad \text{но не более } 3,5;$$

A — см. 3.10.3.2.1;

u_m — максимальное, в пределах района, значение коэффициента формы u , определяемого в сечениях $x = 0; 0,05L; 0,1L...$ и др. от носового перпендикуляра на уровне летней грузовой ватерлинии в пределах носового заострения (для судов

категорий Л1, Л2, Л3 в рассмотрение включаются только расчетные сечения с $x \leq 0,58b$, где b — см. рис. 3.10.1.3.2) по формулам:

$$u = k_B(0,635 + \frac{0,61x}{L})\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \text{ при } \frac{x}{L} \leq 0,25;$$

$$u = k_B(0,862 - \frac{0,30x}{L})\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \text{ при } \frac{x}{L} > 0,25;$$

$$k_B = \begin{cases} 1 & \text{при } \beta \geq 7^\circ \\ 1,15 - 0,15\frac{\beta}{7} & \text{при } \beta < 7^\circ \end{cases}$$

x, α, β — см. 3.10.3.2.1.

Если в расчетном сечении судов категорий Л1, Л2, Л3 $\alpha > 0$ и $\beta = 0$, то следует полагать, что в этом сечении $u = 0,92$.

Если в расчетном сечении судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4, Л5 угол α меньше 3° , допускается не включать это сечение в рассмотрение при вычислении u_m .

Таблица 3.10.3.2.5

Категория ледовых усилений	Район по длине судна								
	носовой и промежуточный (А и А ₁)			средний (В)			кормовой (С)		
	Район по высоте борта								
	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV
Л3	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—
Л4	0,5	0,4	0,35	0,4	—	—	—	—	—
Л5	0,65	0,65	0,45	0,5	0,4	—	0,5	—	—
Л6	0,65	0,65	0,5	0,5	0,45	—	0,5	0,35	0,15
Л7	0,65	0,65	0,5	0,5	0,45	—	0,5	0,4	0,2
Л8	0,7	0,65	0,5	0,55	0,45	0,25	0,55	0,4	0,3
Л9	0,7	0,65	0,5	0,55	0,45	0,3	0,55	0,4	0,35

Таблица 3.10.3.3.1

Коэффициент	Категория ледовых усилений						
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7, Л8, Л9
C_1	0,38	0,42	0,44	0,49	0,6	0,62	0,64
C_2	—	—	—	0,55	0,7	0,73	0,75
C_3	—	0,27	0,30	0,34	0,40	0,47	0,50

.2 В районах A₁I, A₁II, A₁III, A₁IV

$$b_{A_1} = C_2 k_A u_m, \text{ но не более } 1,25 b_A p_{A_1} / p_{A_1 I}, \quad (3.10.3.3.2)$$

где C_2 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.3.1 в зависимости от категории ледовых усилений;

k_A — см. 3.10.3.3.1;

u_m — определяется способом, указанным в 3.10.3.3.1;

b_A — см. 3.10.3.3.1;

p_{A_1} — см. 3.10.3.2.1;

$p_{A_1 I}$ — см. 3.10.3.2.2.

.3 В районах VI, VII, VIII, BIV

$$b_B = C_3 C_4 k_A, \quad (3.10.3.3.3)$$

где C_3 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.3.1 в зависимости от категории ледовых усилений;

C_4 — коэффициент, принимаемый по табл. 3.10.3.3.3 в зависимости от минимального угла наклона борта к вертикали в среднем районе ледовых усилений на уровне летней грузовой ватерлинии;

k_A — см. 3.10.3.3.1.

Таблица 3.10.3.3.3

Коэффициент	Угол наклона борта в средней части судна, град.						
	≤ 6	8	10	12	14	16	18
C_4	1,00	0,81	0,68	0,54	0,52	0,47	0,44

.4 В районах CI, CII, CIII, CIV

$$b_C = 0,8 b_B \text{ — для категорий Л2, Л3, Л4, Л5, Л6;}$$

$$b_C = b_A \text{ — для категорий Л7, Л8, Л9,} \quad (3.10.3.3.4)$$

где b_A — см. 3.10.3.3.1;

b_B — см. 3.10.3.3.3.

3.10.3.4 Длина распределения ледовой нагрузки, м, определяется по следующим формулам:

.1 В районах AI, AII, AIII, AIV

$$l_A^I = 11,3 \sqrt{b_A \sin \beta_m^A}, \text{ но не менее } 3,5 \sqrt{k_A}, \quad (3.10.3.4.1)$$

где b_A, k_A — см. 3.10.3.3.1;

β_m^A — угол β в расчетном сечении района А, для которого величина параметра u максимальна (см. 3.10.3.3.1).

.2 В районах A₁I, A₁II, A₁III, A₁IV

$$l_{A_1}^H = 11,3\sqrt{b_{A_1} \sin \beta_m^{A_1}}, \text{ но не менее } 3\sqrt{k_A}, \quad (3.10.3.4.2)$$

где b_{A_1} — см. 3.10.3.3.2;
 $\beta_m^{A_1}$ — угол β в расчетном сечении района A₁, для которого величина параметра u максимальна (см. 3.10.3.3.1);
 k_A — см. 3.10.3.3.1.

.3 В районах VI, VII, VIII, BIV

$$l_b^H = 6b_B, \text{ но не менее } 3\sqrt{k_A}, \quad (3.10.3.4.3)$$

где b_B — см. 3.10.3.3.3;
 k_A — см. 3.10.3.3.1.

.4 В районах CI, CII, CIII, CIV

$$l_C^H = 6b_C, \text{ но не менее } 3\sqrt{k_A}, \quad (3.10.3.4.4)$$

где b_C — см. 3.10.3.3.4;
 k_A — см. 3.10.3.3.1.

3.10.3.5 Интенсивность ледовой нагрузки для ледоколов определяется по формулам, приведенным ниже:

.1 В районе AI

$$p_{AI} = k_p p_{AI}^c, \quad (3.10.3.5.1)$$

где p_{AI}^c — интенсивность ледовой нагрузки в районе AI, определенная согласно 3.10.3.2.1 как для судна, номер категории ледовых усилений которого совпадает с номером категории ледокола;

$$k_p = \begin{cases} 1 & \text{при } N_\Sigma \leq N_0; \\ (N_\Sigma/N_0)^{0.4} & \text{при } N_\Sigma > N_0; \end{cases}$$

N_Σ — суммарная мощность на гребных валах ледокола, МВт;

N_0 — определяется по табл. 3.10.3.5.1.

Таблица 3.10.3.5.1

Категория ледокола	N_0 , МВт
ЛЛ6	10
ЛЛ7	20
ЛЛ8	40
ЛЛ9	60

.2 В районах A₁I, VI и CI

$$p_{kI} = a_k p_{AI}, \quad (3.10.3.5.2)$$

где p_{AI} — см. 3.10.3.5.1,
 a_k — коэффициент, определяемый по табл. 3.10.3.5.2 в зависимости от района по длине и категории ледокола;
 $k = A_1, B, C$.

Таблица 3.10.3.5.2

Район	Категория ледокола			
	ЛЛ6	ЛЛ7	ЛЛ8	ЛЛ9
A ₁ I	0,65	0,75	0,85	0,85
VI	0,6	0,65	0,7	0,75
CI	0,75	0,75	0,75	0,75

.3 В районах II, III и IV интенсивность ледовой нагрузки определяется как часть интенсивности ледовой нагрузки района I в соответствующем районе по длине:

$$p_{mn} = a_{mn} p_{mI} \quad (3.10.3.5.3)$$

где $m = A, A_1, B, C$;
 $n = II, III, IV$;
 a_{mn} — коэффициент, определяемый по табл. 3.10.3.5.3.

Таблица 3.10.3.5.3

Коэффициент	Район по длине судна и высоте борта											
	AI	AII	AIV	A ₁ II	A ₁ III	A ₁ IV	BII	BIII	BIV	CII	CIII	CIV
a_{mn}	0,7	0,65	0,5	0,6	0,55	0,45	0,55	0,45	0,35	0,55	0,40	0,30

3.10.3.6 Высота распределения ледовой нагрузки для ледоколов принимается одинаковой во всех районах и определяется согласно 3.10.3.3.1, то есть как для носового района судна, номер категории ледовых усилений которого совпадает с номером категории ледокола. При определении u_m значения u вычисляются только для сечений, попадающих в носовой район ледовых усилений ледокола.

3.10.3.7 Длина распределения ледовой нагрузки для ледоколов принимается одинаковой во всех районах и определяется согласно 3.10.3.4.1, то есть как для носового района судна, номер категории ледовых усилений которого совпадает с номером категории ледокола. При определении β_m^A рассматриваются только сечения, попадающие в носовой район ледовых усилений ледокола.

3.10.4 Размеры конструкций ледовых усилений.

3.10.4.1 Наружная обшивка.

Толщина наружной обшивки s_H , мм, в районах ледовых усилений должна быть не менее определяемой по формуле

$$s_H = s_{H0} + \Delta s_{H0} , \quad (3.10.4.1)$$

где
$$s_{H0} = 15,8 a_0 \sqrt{\frac{p}{R_{eH}}} ;$$

$$\Delta s_{H0} = 0,75 T u ;$$

$$a_0 = \frac{a}{1 + 0,5 \frac{a}{c}} ;$$

p — интенсивность ледовой нагрузки в рассматриваемом районе согласно 3.10.3.2 или 3.10.3.5, кПа;

$c = b$ — если перекрытие в рассматриваемом районе имеет поперечную систему набора, при этом c не должно превышать расстояние между разносящими стрингерами или листовыми конструкциями;

$c = l$ — если перекрытие в рассматриваемом районе имеет продольную систему набора;

b — высота распределения ледовой нагрузки в рассматриваемом районе согласно 3.10.3.3 или 3.10.3.6, м;

l — расстояние между соседними поперечными связями, м;

a — расстояние между балками главного направления, м;

T — планируемый срок службы судна, годы;

u — среднегодовое уменьшение толщины наружной обшивки вследствие коррозионного износа и истирания, мм/год, принимаемое по табл. 3.10.4.1. При выполнении мероприятий по защите наружной обшивки от коррозионного износа и истирания (нанесение специальных покрытий, применение плакированных сталей и т.п.) определение величины u является предметом специального рассмотрения Регистром.

3.10.4.2 Порядок определения требуемых и фактических геометрических характеристик балочных конструкций.

.1 Приводимые в 3.10.4.3 ÷ 3.10.4.8 соотношения для определения требуемых геометрических характеристик поперечных сечений балочных конструкций — предельного момента сопротивления W и площади

Таблица 3.10.4.1

Категория ледовых усиления	u , мм/год	
	Район по длине судна	
	носовой и промежуточный (А и А ₁)	средний и кормовой (В и С)
Л1	0,2	Согласно 1.1.5.2
Л2	0,25	
Л3	0,3	
Л4	0,36	0,26
Л5	0,38	0,28
Л6, Л7, Л8, Л9	0,4	0,3
ЛЛ6	0,4	0,3
ЛЛ7	0,5	0,35
ЛЛ8	0,6	0,4
ЛЛ9	0,7	0,4

стенки A — основываются на критерии предельной прочности. При расчете величин W и A целесообразно принимать во внимание следующие рекомендации.

2 Требуемая величина предельного момента сопротивления W пропорциональна коэффициенту k , который изменяется в зависимости от соотношения требуемой площади стенки A и фактической $A_{\text{ф}}$ (принятой при подборе профиля)

$$W = W_0 k; \quad k = k(\gamma); \quad \gamma = A/A_{\text{ф}}, \quad (3.10.4.2.2-1)$$

где W_0 — требуемое значение W без учета запаса по площади стенки, определяемое согласно 3.10.4.3.1, 3.10.4.4.1, 3.10.4.5.1, 3.10.4.6.1, 3.10.4.7.1.

При отсутствии запаса по площади стенки ($A = A_{\text{ф}}$, $\gamma = 1$) величина W максимальна ($k = 1$). Увеличение фактической площади стенки по сравнению с требуемой ($\gamma < 1$) позволяет снизить значение W (при $\gamma = 0,9 \div 0,8$; $k = 0,7 \div 0,63$). Таким образом обеспечивается гибкая процедура подбора профиля, позволяющая исключить избыточные запасы материала, но предполагающая выполнение при расчете нескольких приближений. В

качестве первого приближения в зависимостях (3.10.4.3-1), (3.10.4.4-1), (3.10.4.5-1), (3.10.4.6-1), (3.10.4.7-1) рекомендуется принимать

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_i = 0,9, \text{ то есть фактическая площадь стенки балки должна быть,} \\ \text{как минимум, на 10\% больше требуемой;} \\ k_{ш} = \frac{1}{F + 0,11j} \text{ — для обыкновенных шпангоутов;} \\ k_i = 0,7 \text{ — для остальных типов балок,} \end{array} \right. \quad (3.10.4.2.2-2)$$

где i — индекс типа балки (ш — шпангоут, с — стрингер, р — рамный шпангоут, б — продольная балка);

F, j — см. 3.10.4.3-1.

3 В перекрытиях с рамными шпангоутами предусматривается процедура учета избыточных запасов материала, возникающих в процессе подбора профилей балок за счет превышения фактическими предельным моментом сопротивления W_{ϕ} и площадью стенки A_{ϕ} требуемых значений W и A . Наличие избыточных запасов характеризуется коэффициентами

$$\gamma_i \leq 1; \psi_i = \frac{W_{\phi i}}{W_{0i}} \leq k_i, \quad (3.10.4.2.3)$$

где k_i, γ_i, W_{0i} — см. 3.10.4.2.2-1;

i — см. 3.10.4.2.2-2.

Если в перекрытии с поперечной системой набора фактические геометрические характеристики обыкновенного шпангоута превышают требуемые ($\gamma_{ш} < 1, \psi_{ш} > k_{ш}$), то за счет этого снижаются требуемые геометрические характеристики несущего стрингера и рамного шпангоута (для последнего учитывается и наличие избыточных запасов у несущего стрингера ($\gamma_c < 1, \psi_c > k_c$)). Аналогично в перекрытии с продольной системой набора предусмотрено снижение требований к рамному шпангоуту при наличии избыточного запаса у продольных балок ($\gamma_b < 1, \psi_b > k_b$).

4 В тех случаях, когда процедуры подбора профиля согласно 3.10.4.2.2 и учета избыточных запасов материала согласно 3.10.4.2.3 представляются излишне сложными, допускается выполнение упрощенного расчета, в котором принимается

$$\begin{aligned} \gamma_i &= 0,9; \\ k_{ш} &= \frac{1}{F + 0,11j} \text{ — для обыкновенных шпангоутов;} \\ k_i &= 0,7 \text{ — для остальных типов балок;} \\ \psi_i &= k_i. \end{aligned} \quad (3.10.4.2.4)$$

Конкретные указания по порядку выполнения упрощенного расчета содержатся непосредственно в 3.10.4.3 ÷ 3.10.4.7.

Следует учитывать, что упрощенный расчет приводит к увеличению размеров балочных конструкций. Для ледоколов и судов категорий Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 выполнение упрощенного расчета не рекомендуется.

.5 При подборе профилей балок в фактическую площадь стенки A_{ϕ} , см^2 , включаются участки свободного и присоединенного поясков шириной, равной толщине стенки (рис. 3.10.4.2.5).

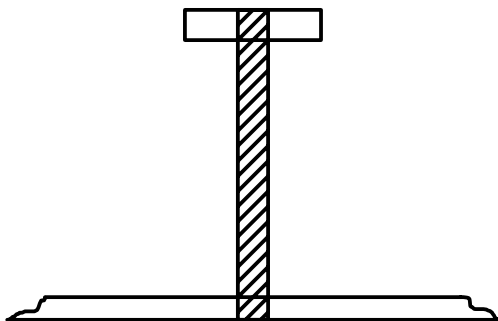


Рис. 3.10.4.2.5



— площадь, засчитываемая в фактическую площадь стенки A_{ϕ} .

При наличии вырезов в стенках балок допускается не учитывать их только для несущих стрингеров в случае, если вырезы удалены от опорных сечений. Требования к площади стенки шпангоутов (обыкновенных и рамных) проверяются по нетто-сечению.

.6 Для вычисления фактического предельного момента сопротивления балок конструкций ледовых усилений рекомендуется использовать формулу

$$W_{\phi} = h(f_{\text{пр}} - 0,5f_{\text{ст}} - C) \text{ см}^3, \quad (3.10.4.2.6-1)$$

где $C = 0$ при $f_{\text{пр}} \geq f_{\text{пр}}$;

$$C = \frac{(f_{\text{пр}} - f_{\text{пр}})^2}{4f_{\text{ст}}} \text{ при } f_{\text{пр}} < f_{\text{пр}};$$

$f_{\text{пр}}$ — площадь профиля балки без присоединенного пояска обшивки, см^2 ;

$f_{\text{ст}} = 0,1hs$;

h — высота профиля, см ;

s — толщина стенки профиля, мм ;

$f_{\text{пр}} = 0,1b_{\text{пр}}t_{\text{пр}}$ — площадь присоединенного пояска обшивки, см^2 ;

$t_{\text{пр}}$ — толщина присоединенного пояска обшивки, принимаемая равной средней толщине обшивки на ширине присоединенного пояска, мм ;

- $b_{\text{пш}}$ — ширина присоединенного пояса, см, принимаемая равной:
- расстоянию между обыкновенными шпангоутами — для обыкновенных и рамных шпангоутов при поперечной системе набора;
 - расстоянию между продольными балками — для продольных балок при продольной системе набора;
 - $1/6$ пролета рамного шпангоута между палубами или платформами, или рамной шпации — в зависимости от того, что меньше — для рамного шпангоута при продольной системе набора;
 - $1/6$ рамной шпации — для стрингера при системе набора с рамными шпангоутами;
 - полусумме расстояний до двух соседних балок того же направления или $1/6$ пролета балки в зависимости от того, что меньше — во всех остальных случаях.

Для катаного профиля в случае $f_{\text{пш}} \geq f_{\text{пр}}$ можно полагать

$$W_f = y_0 f_{\text{пр}} \text{ см}^3, \quad (3.10.4.2.6-2)$$

где y_0 — отстояние центра тяжести поперечного сечения профиля от обшивки, см.

3.10.4.3 Обыкновенные шпангоуты при поперечной системе набора.

Требования настоящего пункта распространяются на обыкновенные шпангоуты в перекрытиях с монотонной системой набора и в перекрытиях с рамными шпангоутами при поперечной системе набора.

В перекрытиях с монотонной системой набора требования предъявляются к одному пролету обыкновенного шпангоута, расположенному между его опорными сечениями на верхней и нижней опорных конструкциях.

В перекрытиях с рамными шпангоутами требования должны предъявляться ко всем пролетам обыкновенного шпангоута: между опорным сечением на верхней опорной конструкции и верхним несущим стрингером, между несущими стрингерами (m — 1 участок, где m — число несущих стрингеров), между нижним несущим стрингером и опорным сечением на нижней опорной конструкции.

1 Предельный момент сопротивления обыкновенного шпангоута $W_{\text{ш}}$, см³, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_{\text{ш}} = k_{\text{ш}} W_{\text{ш}0}, \quad (3.10.4.3.1)$$

где $k_{\text{ш}} = \frac{1}{F + 0,25\sqrt{1 - \gamma_{\text{ш}}^2}}$, $k_{\text{ш}} = \frac{1}{F + 0,11j}$ — при выполнении упрощенного расчета

согласно 3.10.4.2.4;

$F = 1$ при $k = 4$;

$F = 0,5$ при $k < 4$;

k — коэффициент, равный:

для перекрытий с монотонной системой набора согласно табл. 3.10.4.3.1-1;

для перекрытий с рамными шпангоутами $k=4$;

j — коэффициент, равный:

для перекрытий с монотонной системой набора — числу защемленных опорных сечений двух смежных шпангоутов, $j \leq 4$;

для перекрытия с рамной системой набора согласно табл. 3.10.4.3.1-2;

$$\gamma_{ш} = \frac{A_{ш}}{A_{ф}};$$

$A_{ш}$ — см. 3.10.4.3.2;

$A_{ф}$ — см. 3.10.4.3.3;

$$W_{ш0} = \frac{250}{R_{сН}} pbaYEc_{ш};$$

p — интенсивность ледовой нагрузки в рассматриваемом районе согласно 3.10.3.2 или 3.10.3.5, кПа; если в пределах перекрытия расположена нижняя граница района I и при этом требования главы распространяются на районы I и II ледовых усилений (см.3.10.1.3.4), то в качестве p следует принимать следующие величины:

$p = p_{кI}$ — если расстояние от настила верхней опорной конструкции перекрытия до нижней границы района I превышает $1,2b$; в противном случае $p = p_{кII}$;

$p_{кI}, p_{кII}$ — интенсивность ледовой нагрузки в районах I и II (см. 3.10.3.2);

b — высота распределения ледовой нагрузки в рассматриваемом районе согласно 3.10.3.3 или 3.10.3.6, м, если $b > l$, то при вычислении $W_{ш0}$ и $A_{ш}$ принимается $b=l$;

a — расстояние между обыкновенными шпангоутами, измеренное по борту, м;

l — расчетная длина пролета шпангоута, м, определяемая согласно табл. 3.10.4.3.1-1 для монотонной системы набора и табл. 3.10.4.3.1-2 для рамной системы набора;

$$Y = 1 - 0,5\beta;$$

$$\beta = \frac{b}{l}, \text{ но не более } \beta = 1;$$

Таблица 3.10.4.3.1-1

Параметр	Условия закрепления концов промежуточного шпангоута		
	оба конца имеют опорные сечения	один конец имеет опорное сечение, другой свободен (закреплен на интеркостельной связи)	оба конца свободны (закреплены на интеркостельной связи)
k	4	3	2
l	Полусумма расстояний между опорными сечениями двух смежных шпангоутов	Расстояние между опорными сечениями основного шпангоута	

Таблица 3.10.4.3.1-2

Положение рассматриваемого участка обыкновенного шпангоута	l	j
Между несущими стрингерами	Расстояние между несущими стрингерами	4
Между верхней (нижней) опорной конструкцией и ближайшим к ней несущим стрингером	Полусумма расстояний от опорных сечений на опорной конструкции до ближайшего несущего стрингера у двух смежных шпангоутов	$j_0 + 2$ где $j_0 \leq 2$ — число защемленных опорных сечений на опорной конструкции у двух смежных шпангоутов

E — коэффициент, равный:

$$E = 4l_{\text{л}} \frac{l - l_{\text{л}}}{l^2} \text{ при } l_{\text{л}} < 0,5 \cdot l,$$

$$E = 1 \text{ при } l_{\text{л}} \geq 0,5 \cdot l,$$

где $l_{\text{л}}$ — часть длины пролета l , перекрытая районом ледовых усилений, м;

$\omega_{\text{ш}} = 1 + k_{\text{и}} \frac{\Delta s}{s_{\text{шф}}}$, при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 допускается принимать $\omega_{\text{ш}} = 1,15$;

$s_{\text{шф}}$ — фактическая толщина стенки шпангоута, мм;

Δs — см. 1.1.5.1;

$k_{\text{и}} = 0,9$ — для катаного профиля,

$k_{\text{и}} = 0,85$ — для сварного профиля.

2 Площадь стенки обыкновенного шпангоута $A_{\text{ш}}$, см², должна быть не менее определяемой по формуле

$$A_{\text{ш}} = \frac{8,7pab}{R_{\text{сН}}} k_2 k_3 k_4 + 0,1 h_{\text{ш}} \Delta s, \quad (3.10.4.3.2)$$

где $k_2 = \frac{4}{k}$;

$k_3 = 1$ — для судов категорий Л1, Л2, Л3, Л4, Л5;

для судов категорий Л6, Л7, Л8, Л9 и ледоколов:

$$k_3 = \frac{2Y}{z + \sqrt{z^2 - 2Y\beta}} \text{ или}$$

$k_3 = 0,8$ в зависимости от того, что больше;

$$z = 1 + 0,29 \frac{a_0^2}{\beta^2};$$

p, a, b, l, k, Y, β — см. 3.10.4.3.1;

a_0 — см. 3.10.4.1;

$$k_4 = \begin{cases} 1 & \text{— при отсутствии разносящего стрингера;} \\ 0,9 & \text{— при наличии в пролете шпангоута разносящего стрингера;} \\ 0,8 & \text{— при наличии в пролете шпангоута разносящего стрингера, у которого} \\ & \text{обеспечена непрерывность свободного пояса;} \end{cases}$$

$h_{\text{ш}}$ — высота стенки шпангоута, см;

Δs — см. 1.1.5.1.

3 Фактическая площадь стенки $A_{\text{ф}}$, см², определяется согласно 3.10.4.2.5. При выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 величина $A_{\text{ф}}$ должна быть, как минимум, на 10% больше требуемой площади стенки.

4 Толщина стенки обыкновенного шпангоута $s_{\text{ш}}$, мм, должна приниматься не менее большей из следующих величин:

$$s_{\text{ш}} = \frac{k_s}{R_{eH}} p a + \Delta s, \quad (3.10.4.3.4-1)$$

$$s_{\text{ш}} = 0,0114 h_{\text{ш}} \sqrt{R_{eH}} + \Delta s, \quad (3.10.4.3.4-2)$$

где $k_s = 1,4 \frac{W_{\text{ш}}}{W_{\text{шф}}}$, но не менее $k_s = 1,0$;

$W_{\text{ш}}$ — см. 3.10.4.3.1;

$W_{\text{шф}}$ — фактический предельный момент сопротивления обыкновенного шпангоута, определяемый согласно 3.10.4.2.6, см³ (в первом приближении или при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается $W_{\text{шф}} = W_{\text{ш}}$);

p, a — см. 3.10.4.3.1;

$h_{\text{ш}}$ — см. 3.10.4.3.2;

Δs — см. 1.1.5.1.

5 Ширина свободного пояска обыкновенного шпангоута полосо-бульбового или таврового профиля $c_{\text{ш}}$, мм, должна быть не менее большей из следующих величин:

$$c_{\text{ш}} = 0,0145 R_{eH} \frac{W_{\text{ш}}}{W_{\text{шф}}} \sqrt{t_{\text{ш}} s_{\text{шф}}} \left(\frac{h_{\text{ш}}}{s_{\text{шф}}} - 0,98 \right), \quad (3.10.4.3.5-1)$$

$$c_{\text{ш}} = 2,5 t_{\text{ш}}, \quad (3.10.4.3.5-2)$$

$$c_{\text{ш}} = 69,6 s_{\text{шф}} \sqrt{\frac{h_{\text{ш}}}{t_{\text{ш}}} (\beta^2 - 0,0029)}, \quad (3.10.4.3.5-3)$$

где $\beta = \frac{(2-\alpha)l_s}{\alpha h_{\text{ш}}}$, но не менее $\beta = 0,055$;

$$\alpha = \left(\frac{s_{\text{шф}}}{s_{\text{ш}}} \right)^2 + 0,01 \frac{h_{\text{ш}} s_{\text{шф}}}{a s_{\text{шф}}}, \text{ но не менее } \alpha = 1;$$

$W_{\text{ш}}$ — см. 3.10.4.3.1;

$W_{\text{шф}}$ — см. 3.10.4.3.4;

$s_{\text{шф}}$ — фактическая толщина стенки обыкновенного шпангоута, мм;

$t_{\text{ш}}$ — толщина свободного пояска обыкновенного шпангоута, мм (для балок полосо-бульбового профиля следует принимать $t = 1,5 s_{\text{шф}}$);

$h_{\text{ш}}$ — см. 3.10.4.3.2;

$s_{\text{шф}}$ — фактическая толщина наружной обшивки, мм;

a — см. 3.10.4.3.1;

l_s — наибольшее расстояние между соседними пересекающимися пролет шпангоута стрингерами или стрингером и опорным сечением, м.

Допускается не проверять выполнение требований к ширине свободного пояса в случае проведения упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 применительно к шпангоутам из стандартных профилей.

.6 При выполнении обыкновенного шпангоута из полосового профиля высота полосы $h_{ш}$, см, и расстояние l_s , м, должны быть не более определяемых по формулам:

$$h_{ш} = \frac{8,98 s_{шф}}{\left(\left(R_{eH} \frac{W_{ш}}{W_{шф}} \right)^2 \left(1 + 75a \frac{s_{шф}^2}{s_{шф}} \right) \right)^{0,2}}, \quad (3.10.4.3.6-1)$$

$$l_s = 0,0541 \frac{\alpha_n h_{ш}}{2 - \alpha_n}, \quad (3.10.4.3.6-2)$$

где $\alpha_n = \left(\frac{s_{шф}}{s_{шф}} \right)^2 + 0,02 \frac{h_{ш} s_{шф}}{a s_{шф}}$, но $1 \leq \alpha_n \leq 1,9$;

l_s , $s_{шф}$, $s_{шф}$, $W_{ш}$, $W_{шф}$, a — см. 3.10.4.3.5.

3.10.4.4 Несущие и разносящие бортовые стрингеры при поперечной системе набора с рамными шпангоутами.

.1 Предельный момент сопротивления несущего бортового стрингера W_c , см³, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_c = W_{co} k_c, \quad (3.10.4.4.1)$$

где $W_{co} = \frac{125}{R_{eH}} k_c^n p a_1^2 b Q \omega_c$;

$$\left. \begin{aligned} k_c &= \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \gamma_c^2}}; \\ \omega_c &= 1 + 0,95 \frac{\Delta s}{s_{сф}}; \end{aligned} \right\} \text{при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается } k_c = 0,7; \omega_c = 1,15;$$

$$k_c^n = \begin{cases} 1 & \text{при } l^n \geq a_1; \\ l^n / a_1 & \text{при } l^n < a_1; \end{cases}$$

l^n — см. 3.10.3.4;

p , b — см. 3.10.4.3.1;

a_1 — расстояние между рамными шпангоутами, м;

$$Q = C_{1i} + C_{2i} \frac{b}{l} + C_{3i} \psi_{ш} + \frac{C_{4i}}{\gamma_{ш}} + C_{5i} \frac{\psi_{ш}}{\gamma_{ш}};$$

при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается

$$Q = C_{6i} + C_{2i} \frac{b}{l};$$

i — индекс, принимающий следующие значения:

$i = 1$ при $m = 1$;

$i = 2$ при $m \geq 2$;

m — число несущих бортовых стрингеров в перекрытии;

C_{1i} , C_{2i} , ..., C_{6i} — см. табл. 3.10.4.4.

l , $\gamma_{ш}$ — см. 3.10.4.3.1;

$\psi_{ш}$ — коэффициент, принимаемый меньшим из следующих:

$$\psi_{ш} = \frac{W_{шф}}{W_{шо}},$$

$$\psi_{ш} = 1,4k_{ш};$$

$W_{шо}, k_{ш}$ — см. 3.10.4.3.1;

$W_{шф}$ — см. 3.10.4.3.4;

$$\gamma_c = \frac{A_c}{A_{\phi}},$$

A_c — см. 3.10.4.4.2;

A_{ϕ} — см. 3.10.4.4.3;

$s_{сф}$ — фактическая толщина стенки несущего бортового стрингера, мм;

Δs — см. 1.1.5.1.

Т а б л и ц а 3.10.4.4

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}	C_{6i}
1	0,003	0,132	0,398	0,584	−0,785	0,320
2	0,363	0,11	−0,078	0,186	−0,202	0,358

2 Площадь стенки несущего бортового стрингера A_c , см², должна быть не менее определяемой по формуле

$$A_c = \frac{8,7k_c^H p a b}{R_{eH}} Q n + 0,1 h_c \Delta s, \quad (3.10.4.4.2)$$

где p, a, b — см. 3.10.4.3.1;

n — число шпангоутов между соседними рамными шпангоутами;

k_c^H, Q — см. 3.10.4.4.1;

h_c — высота стенки несущего бортового стрингера, см;

Δs — см. 1.1.5.1.

3 Фактическая площадь стенки несущего бортового стрингера A_{ϕ} , см², определяется согласно 3.10.4.3.3.

4 Толщина стенки несущего бортового стрингера, s_c , мм, должна быть не менее определяемой по формуле

$$s_c = 2,63 c_1 \sqrt{\frac{R_{eH}}{5,34 + 4 \left(\frac{c_1}{c_2} \right)^2}} + \Delta s, \quad (3.10.4.4.4)$$

где c_1, c_2 — короткая и длинная стороны панелей, на которые стенка стрингера разбивается подкрепляющими ее ребрами жесткости, м;

для неподкрепленной стенки $c_1 = 0,01(h_c - 0,8h_{ш}), c_2 = a_1$;

h_c — см. 3.10.4.4.2;

$h_{ш}$ — см. 3.10.4.3.2;

a_1 — см. 3.10.4.4.1;

Δs — см. 1.1.5.1.

.5 Высота стенки несущего бортового стрингера h_c , см, должна быть не менее определяемой по формуле

$$h_c = 2h_{ш}, \quad (3.10.4.4.5)$$

где $h_{ш}$ — см. 3.10.4.3.2.

.6 Толщина свободного пояска несущего бортового стрингера должна быть не менее фактической толщины его стенки.

.7 Ширина свободного пояска несущего бортового стрингера c_c , мм, должна быть не менее большей из следующих величин:

$$c_c = 0,0165 R_{eH} \frac{W_c}{W_{сф}} \sqrt{t_c s_{сф}} \left(\frac{h_c}{s_{сф}} - 2,6 \right); \quad (3.10.4.4.7-1)$$

$$c_c = 7,5 t_c, \quad (3.10.4.4.7-2)$$

где W_c — см. 3.10.4.4.1;

$W_{сф}$ — фактический предельный момент сопротивления несущего бортового стрингера, вычисляемый согласно 3.10.4.2.6, см³ (в первом приближении или при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается $W_{сф} = W_c$);

t_c — толщина свободного пояска несущего стрингера, мм;

$s_{сф}$ — см. 3.10.4.4.1;

h_c — см. 3.10.4.4.2.

Конструкция несущих стрингеров без свободного пояска (полосового профиля) не допускается.

.8 Высота стенки разносящего бортового стрингера в сечении у обыкновенного шпангоута h_{pc} , см, должна быть не менее определяемой по формуле

$$h_{pc} = 0,8 h_{ш}, \quad (3.10.4.4.8)$$

где $h_{ш}$ — см. 3.10.4.3.2.

.9 Толщина стенки разносящего бортового стрингера должна быть не менее требуемой согласно 3.10.4.3.4 толщины стенки обыкновенного шпангоута.

3.10.4.5 Рамные шпангоуты при поперечной системе набора.

1 Предельный момент сопротивления рамного шпангоута W_p , см³, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_p = W_{p0} k_p, \quad (3.10.4.5.1)$$

где $W_{p0} = \frac{250}{R_{eH}} k_p^{0.8} p a b l_p (1 - \frac{0.5b}{l_p} + k_m G) \omega_p$;

$k_p = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \gamma_p^2}}$; $G = 2nQ_m(1 - R)$, при выполнении упрощенного расчета согласно

3.10.4.2.4 принимается $k_p = 0,7$; $G = nQ_m$;

n — см. 3.10.4.4.2;

k_m — см. табл. 3.10.4.5.1-1;

Таблица 3.10.4.5.1-1

m	1	2	3	4	5	6
k_m	1,0	1,33	2,0	2,4	3,0	3,43

$$R = 0,5\sqrt{2\psi_c - (\psi_c \gamma_{c1})^2} \text{ при } \psi_c < \frac{1}{\gamma_{c1}^2};$$

$$R = 0,5/\gamma_{c1} \text{ при } \psi_c \geq \frac{1}{\gamma_{c1}^2};$$

$$\gamma_p = \frac{A_p}{A_\Phi};$$

$$\psi_c = \frac{W_{сф}}{W_{со}} k_d;$$

γ_{c1} — коэффициент, принимаемый большим из следующих:

$$\gamma_{c1} = \frac{\gamma_c}{k_d}$$

$$\gamma_{c1} = 0,7;$$

$$k_d = 1 \text{ при } m \leq 2,$$

$k_d = \frac{Q}{Q_m}$ при $m > 2$, при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 следует принимать $k_d = 1,2$ при $m > 2$;

$$Q_m = Q \text{ при } m = 1; 2$$

$$Q_m = C_{m1} + C_{m2}(0,5\frac{b}{l}(\psi_{ш} - 0,5) - \psi_{ш}) \text{ при } m = 3; 4; 5; 6;$$

C_{m1} , C_{m2} — коэффициенты, определяемые по табл. 3.10.4.5.1-2.

Таблица 3.10.4.5.1-2

m	3	4	5	6
C_{m1}	0,5	0,417	0,333	0,292
C_{m2}	0,25	0,167	0,111	0,083

$\omega_p = 1 + 0,95 \frac{\Delta s}{s_{pf}}$, при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 допускается принимать $\omega_p = 1,15$;
 p, a, b — см. 3.10.4.3.1;
 $m, l, Q, \psi_{ш}, W_{co}, \gamma_c$ — см. 3.10.4.4.1;
 l_p — длина пролета рамного шпангоута, равная расстоянию между опорными сечениями, м;
 W_{cof} — см. 3.10.4.4.7;
 $k_p^n = \begin{cases} 1 & \text{при } l^n \geq 2a_1; \\ \frac{l^n}{2a_1} & \text{при } l^n < 2a_1; \end{cases}$
 l^n — см. 3.10.3.4;
 a_1 — см. 3.10.4.4.1;
 A_p — см. 3.10.4.5.2;
 A_ϕ — см. 3.10.4.5.3;
 s_{pf} — фактическая толщина стенки рамного шпангоута, мм;
 Δs — см. 1.1.5.1.

2 Площадь стенки рамного шпангоута A_p , см², должна быть не менее определяемой по формуле

$$A_p = \frac{8,7pabk_p^n}{R_{eH}}(1 + m \cdot G) + 0,1h_p\Delta s, \quad (3.10.4.5.2)$$

где p, a, b — см. 3.10.4.3.1;
 m — см. 3.10.4.4.1;
 k_p^n, G — см. 3.10.4.5.1;
 h_p — высота стенки рамного шпангоута, см;
 Δs — см. 1.1.5.1.

3 Фактическая площадь стенки рамного шпангоута A_ϕ , см², определяется согласно 3.10.4.3.3.

4 Толщина стенки рамного шпангоута s_p , мм, должна приниматься не менее большей из следующих величин:

$$s_p = \frac{k_s}{R_{eH}}pa + \Delta s, \quad (3.10.4.5.4-1)$$

$$s_p = 2,63c_1 \sqrt{\frac{R_{eH}}{5,34 + 4\left(\frac{c_1}{c_2}\right)^2}} + \Delta s, \quad (3.10.4.5.4-2)$$

где $k_s = \frac{1}{1,25 \frac{W_{pf}}{W_p} - 0,75}$, но не менее $k_s = 1,0$;

W_p — см. 3.10.4.5.1;
 W_{pf} — фактический предельный момент сопротивления рамного шпангоута, определяемый согласно 3.10.4.2.6, см³ (в первом приближении или при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается $W_{pf} = W_p$);
 p, a — см. 3.10.4.3.1;

c_1, c_2 — короткая и длинная стороны панелей, на которые стенка рамного шпангоута разбивается подкрепляющими ее ребрами жесткости, мм;

As — см. 1.1.5.1.

.5 Толщина свободного пояска рамного шпангоута должна быть не менее фактической толщины его стенки.

.6 Ширина свободного пояска рамного шпангоута c_p , мм, должна быть не менее большей из следующих величин:

$$c_p = A_1 R_{eH} \frac{W_p}{W_{pф}} \sqrt{t_p s_{pф}} \left(\frac{h_p}{s_{pф}} - A_2 \right), \quad (3.10.4.5.6-1)$$

$$c_c = A_3 t_p, \quad (3.10.4.5.6-2)$$

где W_p — см. 3.10.4.5.1;

$W_{pф}$ — см. 3.10.4.5.4;

t_p — толщина свободного пояска рамного шпангоута, мм;

$s_{pф}$ — см. 3.10.4.5.1;

h_p — см. 3.10.4.5.2;

$A_1 = 0,0039$; $A_2 = 1,4$; $A_3 = 5$ — если стенка рамного шпангоута подкреплена ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке;

$A_1 = 0,0182$; $A_2 = 2,6$; $A_3 = 10$ — если стенка рамного шпангоута подкреплена ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к параллельному наружной обшивке, или если подкрепление отсутствует.

Конструкция рамных шпангоутов без свободного пояска (полосового профиля) не допускается.

3.10.4.6 Бортовые и днищевые продольные балки при продольной системе набора.

.1 Предельный момент сопротивления продольной балки W_6 , см³, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_6 = W_{60} k_6, \quad (3.10.4.6.1)$$

где $W_{60} = \frac{125}{R_{eH}} p b_1 l^2 c^2 \omega_6$;

$k_6 = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \gamma_6^2}}$; при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 $k_6 = 0,7$;

$c = 1$ — для днищевых продольных балок и для бортовых продольных балок при отсутствии дополнительных шпангоутов;

$c = \frac{1}{1 + \frac{0,25}{e}}$ — для бортовых продольных балок при наличии дополнительных шпангоутов;

$b_1 = k_0 b_2$;

$b_2 = b(1 - 0,25\bar{b})$ при $\bar{b} < 2$;

$$b_2 = a \text{ при } \bar{b} \geq 2;$$

$$e = \bar{b} + 1;$$

$$\bar{b} = \frac{b}{a};$$

$$k_0 = 1 - \frac{0,3}{\bar{b}};$$

$\omega_6 = 1 + k_n \frac{\Delta s}{s_{6\phi}}$, при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 допускается принимать $\omega_6 = 1,15$;

p, b — см. 3.10.4.3.1;

a — расстояние между продольными балками, м;

l — расстояние между рамными шпангоутами или флорами, м;

$$\gamma_6 = \frac{A_6}{A_\phi};$$

A_6 — см. 3.10.4.6.2;

A_ϕ — см. 3.10.4.6.3;

$s_{6\phi}$ — фактическая толщина стенки продольной балки, мм;

Δs — см. 1.1.5.1;

k_n — см. 3.10.4.3.1.

.2 Площадь стенки продольной балки A_6 , см², должна быть не менее определяемой по формуле

$$A_6 = \frac{8,7}{R_{eH}} p b_1 l c k_1 + 0,1 h_6 \Delta s, \quad (3.10.4.6.2)$$

где p — см. 3.10.4.3.1;

b_1, l, c — см. 3.10.4.6.1;

k_1 — коэффициент, принимаемый большим из следующих:

$$k_1 = \frac{1}{1 + 0,76 \frac{a_0}{l}},$$

$$k_1 = 0,8;$$

a_0 — см. 3.10.4.1;

h_6 — высота стенки продольной балки, см;

Δs — см. 1.1.5.1.

.3 Фактическая площадь стенки продольной балки A_ϕ , см², определяется согласно 3.10.4.3.3.

.4 Толщина стенки продольной балки s_6 , мм, должна приниматься не менее большей из следующих величин:

$$s_6 = \frac{k_s}{R_{eH}} p b_1 + \Delta s, \quad (3.10.4.6.4-1)$$

$$s_6 = 0,013 h_6 \sqrt{R_{eH}} + \Delta s, \quad (3.10.4.6.4-2)$$

где $k_s = 1,4 \frac{W_6}{W_{6\phi}}$, но не менее $k_s = 1,0$;

W_6 — см. 3.10.4.6.1;

$W_{\text{бф}}$ — фактический предельный момент сопротивления продольной балки, определяемый согласно 3.10.4.2.6, см³ (в первом приближении или при выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается $W_{\text{бф}} = W_6$);

p — см. 3.10.4.3.1;

b_1 — см. 3.10.4.6.1;

h_6 — см. 3.10.4.6.2;

Δs — см. 1.1.5.1.

5 Ширина свободного пояска продольной балки полособульбового или таврового профиля c_6 , мм, должна быть не менее большей из следующих величин:

$$c_6 = 0,0145 R_{eH} \frac{W_6}{W_{\text{бф}}} \sqrt{t_6 s_{\text{бф}}} \left(\frac{h_6}{s_{\text{бф}}} - 0,98 \right), \quad (3.10.4.6.5-1)$$

$$c_6 = 2,5 t_6, \quad (3.10.4.6.5-2)$$

$$c_6 = 69,6 s_6 \sqrt{\frac{h_6}{t_6} (\beta^2 - 0,0029)}, \quad (3.10.4.6.5-3)$$

где $\beta = \frac{(2-\alpha)l_s}{\alpha h_6}$, но не менее $\beta = 0,055$;

$\alpha = \left(\frac{s_{\text{бф}}}{s_{\text{нф}}} \right)^2 + \frac{0,01 h_6 s_{\text{нф}}}{a s_{\text{бф}}}$, но не менее $\alpha = 1$;

W_6 — см. 3.10.4.6.1;

$W_{\text{бф}}$ — см. 3.10.4.6.4;

$s_{\text{бф}}$ — фактическая толщина стенки продольной балки, мм;

t_6 — толщина свободного пояска продольной балки, мм (для балок полособульбового профиля следует принимать $t_6 = 1,5 s_{\text{бф}}$);

h_6 — см. 3.10.4.6.2;

$s_{\text{нф}}$ — фактическая толщина наружной обшивки, мм;

a — см. 3.10.4.6.1;

l_s — наибольшее расстояние между соседними пересекающимися пролет продольной балки поперечными связями, м.

Допускается не проверять выполнение требований к ширине свободного пояска в случае проведения упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 применительно к продольным балкам из стандартных профилей.

6 При выполнении продольной балки из полосового профиля высота полосы h_6 , см, и расстояние l_s , м, должны быть не более определяемых по формулам:

$$h_6 = \frac{8,98 s_{\text{бф}}}{[(R_{eH} W_6 / W_{\text{бф}})^2 (1 + 75 a s_{\text{бф}}^2 / s_{\text{нф}}^3)]^{0,2}}; \quad (3.10.4.6.6-1)$$

$$l_s = \frac{0,0541 \alpha_n h_6}{2 - \alpha_n}, \quad (3.10.4.6.6-2)$$

где $\alpha_n = \left(\frac{s_{6\Phi}}{s_{н\Phi}} \right)^2 + \frac{0,02 h_6 s_{н\Phi}}{a s_{6\Phi}}$, при этом $1 \leq \alpha_n \leq 1,9$;

$l_s, s_{6\Phi}, s_{н\Phi}, W_6, W_{6\Phi}, a$ — см. 3.10.4.6.5.

3.10.4.7 Рамные шпангоуты при продольной системе набора.

1 Предельный момент сопротивления рамного шпангоута W_p , см³, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_p = W_{p0} k_p, \quad (3.10.4.7.1)$$

где $W_{p0} = \frac{500}{R_{eH}} p a b k_p^H (1 + k_g) (Q - \frac{k_g R}{e}) \omega_p$;

$$k_p = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \gamma_p^2}};$$

$$Q = 2 - N;$$

$$N = \sqrt{2\psi_6 \beta - (\psi_6 \gamma_6)^2} \text{ при } \psi_6 < \frac{\beta}{\gamma_6^2};$$

$$N = \frac{\beta}{\gamma_6} \text{ при } \psi_6 \geq \frac{\beta}{\gamma_6^2};$$

$$R = \frac{\beta \psi_6}{\sqrt{(\psi_6 \gamma_6)^2 + 4}}.$$

При выполнении упрощенного расчета согласно 3.10.4.2.4 принимается:

$$k_p = 0,7, N = 1,1\beta, R = 0,33\beta;$$

$$\beta = \frac{b_1 e}{b};$$

p, b — см. 3.10.4.3.1;

a, l, b_1, e, γ_6 — см. 3.10.4.6.1;

k_p^H, ω_p — см. 3.10.4.5.1;

k_g — коэффициент, принимаемый меньшим из следующих:

$$k_g = 0,5 \left(\frac{eQ}{R} - 1 \right);$$

$$k_g = 0,5(k - 0,25(e + 1));$$

k — число продольных балок в пролете рамного шпангоута;

$$\psi_6 = \frac{W_{6\Phi}}{W_{60}};$$

$W_{6\Phi}$ — см. 3.10.4.6.4;

W_{60} — см. 3.10.4.6.1;

$$\gamma_p = \frac{A_p}{A_\Phi};$$

A_p — см. 3.10.4.7.2;

A_Φ — см. 3.10.4.7.3.

.2 Площадь стенки рамного шпангоута A_p , см², должна быть не менее определяемой по формуле

$$A_p = \frac{8,7}{R_{eH}} pbk_p^H l Q + 0,1 h_p \Delta s, \quad (3.10.4.7.2)$$

где p, b — см. 3.10.4.3.1;

l — см. 3.10.4.6.1;

Q — см. 3.10.4.7.1;

h_p — высота стенки рамного шпангоута, см;

Δs — см. 1.1.5.1.

.3 Фактическая площадь стенки рамного шпангоута A_{ϕ} , см², определяется согласно 3.10.4.3.3.

.4 Толщина стенки рамного шпангоута должна быть не менее большей из величин, определенных по формулам (3.10.4.5.4-1), (3.10.4.5.4-2), при этом W_p — согласно 3.10.4.7.1, a — согласно 3.10.4.6.1.

Требование настоящего пункта распространяется также на вертикальные диафрагмы двойного борта.

.5 Высота стенки рамного шпангоута должна быть не менее определяемой по формуле

$$h_p = 2h_{\phi}, \quad (3.10.4.7.5)$$

где h_{ϕ} — см. 3.10.4.6.2.

.6 Толщина свободного пояска рамного шпангоута должна быть не менее фактической толщины его стенки.

.7 Ширина свободного пояска рамного шпангоута определяется согласно 3.10.4.5.6, при этом W_p — согласно 3.10.4.7.1. Конструкция рамных шпангоутов без свободного пояска (полосового профиля) не допускается.

3.10.4.8 Дополнительные шпангоуты и горизонтальные диафрагмы при продольной системе набора.

.1 Высота стенки дополнительного шпангоута (см. 3.10.2.3) в сечении у продольной балки $h_{\text{дш}}$, см, должна быть не менее определяемой по формуле

$$h_{\text{дш}} = 0,8h_{\phi}, \quad (3.10.4.8.1)$$

где h_{ϕ} — высота стенки продольной балки, см.

.2 Толщина стенки дополнительного шпангоута должна быть не менее требуемой согласно 3.10.4.6.4 толщины стенки продольной балки.

.3 Площадь поперечного сечения горизонтальной диафрагмы в конструкции двойного борта при продольной системе набора наружного борта должна быть не менее площади стенки рамного шпангоута (вертикальной диафрагмы) согласно 3.10.4.7.2.

3.10.4.9 Листовые конструкции.

.1 Толщина листовых конструкций рамного набора бортовых перекрытий (рамные шпангоуты, несущие стрингеры) определяется согласно 3.10.4.4.4, 3.10.4.5.4, 4.10.4.7.4.

.2 Толщина листовых конструкций палуб и платформ, а также второго дна, днищевых стрингеров и вертикального киля должна быть не менее величины $s_{л1}$, мм, определяемой по формуле

$$s_{л1} = s_{л0} + \Delta s, \quad (3.10.4.9.2)$$

где $s_{л0} = s_{л01}$ — если листовая конструкция подкреплена ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке;

$s_{л0} = s_{л02}$ — если листовая конструкция не подкреплена ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке (допускается на судах категорий Л1, Л2, Л3);

$$s_{л01} = b \left\{ 0,8 \frac{p_1}{R_{eH}} - 0,0045k_2 \left[1 + 4 \left(\frac{c_p}{k_2 b} \right)^2 \right] \left(\frac{s_{н0}}{10c_p} \right)^{3,5} \right\};$$

$$s_{л02} = \frac{0,95 p_1 b}{R_{eH}};$$

$$p_1 = k_1 p;$$

k_1 — см. табл. 3.10.4.9.2;

$$k_2 = k_T \sqrt{k_p};$$

$$k_T = 0,17 \Delta^{1/6}, \text{ но не менее } 1,0;$$

k_p — согласно 3.10.3.5.1 для ледоколов,

$k_p = 1$ — для судов ледового плавания;

Δ — см. 3.10.3.2.1;

p, b — см. 3.10.4.3.1;

c_p — расстояние между подкрепляющими листовую конструкцию ребрами жесткости или другими элементами набора, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке, м;

$s_{н0}$ — см. 3.10.4.1;

Δs — см. 1.1.5.1.

Таблица 3.10.4.9.2

Категория ледовых усиления	k_1
Л1, Л2, Л3, Л4, Л5	1,3
Л6, ЛЛ6	1,2
Л7, ЛЛ7	1,1
Л8, ЛЛ8, Л9, ЛЛ9	1,0

3 Толщина листовых конструкций палуб и платформ при поперечной системе набора борта дополнительно к требованиям 3.10.4.9.2 должна быть не менее величины $s_{л2}$, мм, определяемой по формуле

$$s_{л2} = s_{л0} + \Delta s, \quad (3.10.4.9.3)$$

$$\text{где } s_{л0} = \frac{0,866}{\alpha} \left[1,1 \frac{p_1}{R_{eH}} \cdot b \left(1 - \frac{b}{4l} \right) - 0,5 \frac{W_{шф} l 10^{-3}}{\omega_{ш} a l_1 l_2} \left(\frac{h_{ш}}{10l} \right)^{1,5} - \frac{0,1 f_{рж}}{a_1} \right];$$

p_1 — см. 3.10.4.9.2;

$$l = \frac{1}{2} (l_1 + l_2);$$

$$\alpha = 1 - \frac{a_2}{a};$$

l_1, l_2 — расстояние от рассматриваемой листовой конструкции до ближайших к ней листовых конструкций (палуб, платформ, несущих бортовых стрингеров, настила второго дна) с одной и другой стороны, м;

a_1 — расстояние между подкрепляющими листовую конструкцию ребрами жесткости, установленными в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке, и приваренными к ней, м;

$f_{рж}$ — площадь поперечного сечения ребра жесткости без присоединенного пояса, см²; если ребра жесткости установлены параллельно наружной обшивке или срезаны «на ус», следует принять $f_{рж} = 0$;

$b, a, \omega_{ш}$ — см. 3.10.4.3.1;

$W_{шф}$ — см. 3.10.4.3.4;

$h_{ш}$ — см. 3.10.4.3.2;

a_2 — измеренная вдоль наружной обшивки длина неподкрепленной части выреза в листовой конструкции для прохода обыкновенного шпангоута, м;

Δs — см. 1.1.5.1.

4 Толщина листовых конструкций поперечных переборок при продольной системе набора борта, а также флоров и скуловых бракет при продольной системе набора днища должна быть не менее величины $s_{л3}$, мм, определяемой по формуле

$$s_{л3} = s_{л0} + \Delta s, \quad (3.10.4.9.4)$$

$$\text{где } s_{л0} = a \left\{ 1,8 \frac{p_2}{R_{eH}} - 0,009 \left[1 + \left(\frac{a}{k_g} \right)^2 \right] \left(\frac{s_{л0}}{10a} \right)^{3,5} \right\};$$

$$p_2 = \frac{p_1}{k_2};$$

p_1, k_2 — см. 3.10.4.9.2;

$k_g = 0,4k_2b$, но не более $k_g = a$;

a — расстояние между бортовыми (днищевыми) продольными балками, м;

b — см. 3.10.4.3.1;

$s_{л0}$ — см. 3.10.4.1;

Δs — см. 1.1.5.1.

5 Толщина листовых конструкций поперечных переборок при поперечной системе набора борта, а также флоров при поперечной системе набора днища должна быть не менее величины $s_{л4}$, мм, определяемой по формуле

$$s_{л4} = s_{л0} + \Delta s, \quad (3.10.4.9.5)$$

где $s_{л0} = a \left\{ 1,8 \frac{p_2}{R_{eH}} - 0,009 \left[1 + \left(\frac{a}{k_g} \right)^2 \right] \left(\frac{s_{н0}}{10a} \right)^{3,5} \right\}$;
 $k_g = 0,4k_2b$, но не более $k_g = c_p$;
 b — см. 3.10.4.3.1;
 k_2, c_p — см. 3.10.4.9.2;
 p_2 — см. 3.10.4.9.4;
 a — расстояние между обыкновенными шпангоутами (для листовых конструкций переборок) или флорами (для листовых конструкций флоров), м;
 $s_{н0}$ — см. 3.10.4.1;
 Δs — см. 1.1.5.1.

6 Во всех случаях толщина листовых конструкций палуб и платформ, поперечных переборок, второго дна, флоров и скуловых бракет, днищевых стрингеров и вертикального киля должна быть не менее величины $s_{л}$, мм, определяемой по формуле

$$s_{л} = s_{л0} + \Delta s, \quad (3.10.4.9.6)$$

где $s_{л0} = \sqrt[3]{\frac{q}{n}}$ при $q \leq q_1$;
 $s_{л0} = 0,455 \cdot \left[\frac{q}{R_{eH}} + \sqrt{\left(\frac{q}{R_{eH}} \right)^2 + \frac{1,32R_{eH}}{n}} \right]$ при $q_1 < q < q_2$,
 $s_{л0} = 1,73 \sqrt{\frac{R_{eH}}{n}}$ при $q \geq q_2$;
 $q = 0,6p_1b \left(1 - \frac{0,1bk_2}{a} \right)$ — для листовых конструкций палуб и платформ, второго дна, днищевых стрингеров и вертикального киля при продольной системе набора борта или днища;
 $q = 0,89p_2a$ — для остальных типов листовых конструкций, перечисленных в 3.10.4.9.2 ÷ 3.10.4.9.5;
 p_1, k_2 — см. 3.10.4.9.2;
 p_2 — см. 3.10.4.9.4;
 $q_1 = 0,353 \sqrt{\frac{R_{eH}^3}{n}}$;
 $q_2 = 4,9q_1$;
 $n = \frac{0,294n_1}{c_1^2}$;
 $n_1 = \left[1 + \left(\frac{c_1}{c_2} \right)^2 \right]^2$ — если к наружной обшивке примыкает длинная сторона панели листовой конструкции,

$n_1 = 4$ — если к наружной обшивке примыкает короткая сторона панели листовой конструкции;
 c_1, c_2 — короткая и длинная стороны панелей, на которые листовая конструкция разбивается подкрепляющим ее набором, м;
 b — см. 3.10.4.3.1;
 a — расстояние между балками основного набора наружной обшивки, м;
 Δs — см. 1.1.5.1.

.7 Момент инерции, i , см⁴, ребер жесткости, подкрепляющих листовые конструкции и установленных в направлении, близком к перпендикулярному к наружной обшивке, должен быть не менее определяемого по формуле

$$i = 0,01 R_{eH} l^2 (10 s_{\text{лнк}} a + f_p), \quad (3.10.4.9.7)$$

где l — длина пролета ребра жесткости, м, но не более $l = 6a$;
 $s_{\text{лнк}}$ — толщина подкрепляемой листовой конструкции, мм;
 a — расстояние между подкрепляющими ребрами жесткости, м;
 f_p — площадь поперечного сечения ребра жесткости без присоединенного пояса, см².

.8 Горизонтальное перекрытие, примыкающее к наружной обшивке в районе ледовых усилений, но не простирающееся от борта до борта судна (палуба или платформа в районе больших вырезов, горизонтальная диафрагма двойного борта и т.п.) может рассматриваться как платформа в случае, если площадь поперечного сечения его настила (с одного борта) не менее величины F , см², определяемой по формуле

$$F = \frac{6pb l^*}{R_{eH}} \left(1 - \frac{b}{4l}\right), \quad (3.10.4.9.8)$$

где p — см. 3.10.3.2;
 b — см. 3.10.3.3;
 l^* — расчетная длина распределения воспринимаемой нагрузки, м, для монотонной поперечной системы набора борта, принимаемая равной l^n , а для системы набора с рамными шпангоутами (поперечной или продольной) — l^n или $2a_1$ в зависимости от того, что меньше;
 l^n — см. 3.10.3.4;
 a_1 — см. 3.10.4.4.1;
 l — см. 3.10.4.9.3.

В противном случае эту конструкцию следует считать несущим бортовым стрингером.

Конструкция, рассматриваемая как платформа, должна удовлетворять требованиям 3.10.4.9 к листовым конструкциям платформ, а рассматриваемая как стрингер — требованиям 3.10.4.4.

3.10.4.10 Штевни.

1 Требования настоящего пункта к площади, моменту сопротивления поперечного сечения и толщине листов форштевня должны быть выполнены на участке форштевня от киля до уровня выше верхней границы ледового пояса на величину H_1 (см. табл. 3.10.4.10.1). Для ледоколов этот участок форштевня продлевается до ближайшей палубы или платформы, расположенной выше указанного уровня. Вне границ рассматриваемого участка размеры форштевня могут постепенно уменьшаться. При этом площадь поперечного сечения бруска или прутка должна быть не менее требуемой в 2.10.4, а толщина листов комбинированного или листового форштевня — не менее ks (где s — толщина обшивки ледового пояса в районе АІ; k — см. табл. 3.10.4.10.1).

Таблица 3.10.4.10.1

Величина	Суда ледового плавания									Ледоколы			
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9	ЛЛ6	ЛЛ7	ЛЛ8	ЛЛ9
Расстояние от верхней границы ледового пояса до верхней границы усиления форштевня, H_1 м	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	1,5	1,75	2,0
Коэффициент утолщения листов форштевня выше границы усиления k	1,25	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1	1	1	1	1	1	1
Коэффициент k_k формулы (3.10.4.10.1)	0,30	0,34	0,4	0,54	0,66	1,02	1,25	1,4	1,55	1,43	1,75	1,96	2,17
Высота вертикального листа в ДП, подкрепляющего форштевень, h_B , м	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	1,3	1,5	Продольная переборка в ДП форпика					

Площадь поперечного сечения S , см², форштевня любой конструкции должна быть не менее определенной по формуле

$$S = k_k f(\Delta), \quad (3.10.4.10.1-1)$$

где k_k — коэффициент, значения которого приведены в табл. 3.10.4.10.1;

$$f(\Delta) = \begin{cases} 0,031\Delta + 137 & \text{при } \Delta < 5000 \text{ т;} \\ \Delta^{2/3} & \text{при } \Delta \geq 5000 \text{ т;} \end{cases}$$

Δ — водоизмещение, т.

Момент сопротивления W , см³, поперечного сечения форштевня относительно оси, перпендикулярной к диаметральной плоскости, должен быть не менее определяемого по формуле

$$W = 1,16pb, \quad (3.10.4.10.1-2)$$

где p, b — см. 3.10.4.3.1 для района усиления АІ.

В расчетное поперечное сечение форштевня комбинированной или листовой конструкции засчитываются участки примыкающих к форштевню листов наружной обшивки и вертикального листа или продольной переборки в диаметральной плоскости на ширине не более десяти толщин соответствующих листов.

Толщина листов форштевня s , мм, комбинированной или листовой конструкции, а также конструкции согласно рис. 3.10.2.6 должна быть не менее определяемой по формуле

$$s = 1,2s_n \frac{a_5}{a_n} \sqrt{\frac{R_{eH}^n}{R_{eH}}}, \quad (3.10.4.10.1-3)$$

где s_n — см. 3.10.4.1 для района усиления АІ;

a_5 — расстояние между поперечными бракетами форштевня, м;

a_n — шпация основного набора наружной обшивки в районе усиления АІ, которая использовалась при вычислении s_n , м;

R_{eH}^n — предел текучести материала наружной обшивки, который использовался при вычислении s_n , МПа;

R_{eH} — предел текучести материала листов форштевня, МПа.

2 Ахтерштевень. Площадь поперечного сечения старнпоста или рудерпоста S , см², определяется по формуле

$$S = kS_0, \quad (3.10.4.10.2)$$

где k — коэффициент, принимаемый согласно табл. 3.10.4.10.2;

S_0 — площадь поперечного сечения старнпоста или рудерпоста, требуемая для судна, не имеющего категории ледовых усиления, согласно 2.10.4, см².

Для ахтерштевня одновальных судов категорий Л1, Л2, Л3, не имеющих рудерпоста или имеющих шпindel для рулей типа «Симплекс», размеры поперечного сечения подошвы ахтерштевня принимаются наибольшими, исходя из требуемых согласно 2.10.4.4 (с учетом 2.2.2.2 части III «Устройства, оборудование и снабжение») или по формуле (3.10.4.10.2) в зависимости от того, что больше.

Если ахтерштевень имеет кронштейн для полуподвесного руля, то размеры кронштейна должны определяться согласно 2.10.4.10 с учетом

Таблица 3.10.4.10.2

Коэффициент усиления k	Категория ледовых усилений								
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6, ЛЛ6	Л7, ЛЛ7	Л8, ЛЛ8	Л9, ЛЛ9
Старнпост	1,1	1,1	1,15	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
Рудерпост и подошва ахтерштевня	1,15	1,15	1,25	1,5	1,8	2	2,5	3,5	4

2.2.2.2 части III «Устройства, оборудование и снабжение».

Площадь поперечного сечения ахтерштевня двухвинтовых судов ледового плавания или ледоколов должна быть не менее площади рудерпоста согласно 3.10.4.10.2.

ЧАСТЬ VII. МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

1.4 МОЩНОСТЬ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ (п. 1.4.1, 1.4.2)

1.4.1 Мощность главных механизмов ледоколов должна соответствовать их категории согласно 2.2.3.2 части I «Классификация».

Мощность P_{min} , кВт, на гребных валах судов ледового плавания категорий Л2, Л3, Л4, Л5, Л6, Л7, Л8, Л9 должна быть не менее определяемой по формуле

$$P_{min} = f_1 f_2 f_3 (f_4 \Delta + P_0), \quad (1.4.1)$$

где $f_1 = 1,0$ — для винтов фиксированного шага;
 $f_1 = 0,9$ — для винтов регулируемого шага;
 $f_2 = \varphi/200 + 0,675$, но не более 1,1;
 φ — угол наклона форштевня (см. 3.10.1.2 части II «Корпус»);
 $f_2 = 1,1$ — для бульбообразной формы носовой оконечности судна;
произведение $f_1 f_2$ во всех случаях должно приниматься не менее 0,85;
 $f_3 = 1,2B/\sqrt[3]{\Delta}$, но не менее чем 1,0;
 B — ширина судна, м;
 Δ — водоизмещение судна по летнюю грузовую ватерлинию (см.1.2.1 части III «Устройства, оборудование и снабжение»), т;

при вычислении P_{min} для судов ледового плавания категорий Л2 и Л3 величина Δ может приниматься не более 80000 т; f_4 и P_0 принимаются по

Таблица 1.4.1

Водоизмещение Δ , т	Величина	Категория ледовых усиления							
		Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9
$\Delta < 30000$	f_4	0,18	0,22	0,26	0,3	0,36	0,42	0,47	0,5
	P_0 , кВт	0	370	740	2200	3100	4000	5300	7500
$\Delta \geq 30000$	f_4	0,11	0,13	0,15	0,2	0,22	0,24	0,25	0,26
	P_0 , кВт	2100	3070	4040	5200	7300	9400	11600	14700

табл. 1.4.1.

Независимо от результатов определения мощности по формуле (1.4.1) минимальная мощность, кВт, должна быть не менее:

10000 — для категории Л9;

7200 — для категории Л8;

5000 — для категории Л7;

3500 — для категории Л6;

2600 — для категории Л5;

1000 — для категории Л4;

740 — для категорий Л3, Л2.

В обоснованных случаях минимальные значения мощности могут быть снижены. Эти случаи являются предметом специального рассмотрения Регистром.

1.4.2 На ледоколах и судах ледового плавания категорий Л6, Л7, Л8, Л9 использование турбин в качестве главных механизмов может быть допущено при условии применения электрогребной установки или устройств, предохраняющих турбины и зубчатые передачи от ударных нагрузок.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Соответствие категорий ледовых усиления новой редакции Правил категориям действующим Правил Российского Морского Регистра Судоходства

Новая редакция Правил	Правила Российского Морского Регистра Судоходства
Суда ледового плавания	
Л1	~ Л4
Л2	~ Л3
Л3	~ Л2
Л4	~ Л1
Л5	УЛ
Л6	
Л7	УЛА
Л8	
Л9	
Ледоколы	
ЛЛ6	ЛЛ4
ЛЛ7	ЛЛ3
ЛЛ8	ЛЛ2
ЛЛ9	ЛЛ1