РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

Изменения No 1
Изменения No 2
Бюллетень No 1

ПРАВИЛА КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ

Том 3

Часть XVII
ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПО КОНСТРУКЦИИ И ПРОЧНОСТИ НЕФТЕНАЛИВНЫХ СУДОВ С ДВОЙНЫМИ БОРТАМИ

НД No 2-020101-044 (Том 3)

Российский морской регистр судоходства
Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8

2006

gost.e-ecolog.ru

ЛИСТ УЧЕТА ЦИРКУЛЯРНЫХ ПИСЕМ, ИЗМЕНЯЮЩИХ / ДОПОЛНЯЮЩИХ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

НД 2-020101-044 Правила классификации и постройки морских судов (2005). Том 3, часть XVII "Общие правила по конструкции и прочности нефтеналивных судов с двойными бортами"

(номер и название нормативного документа)

№ п/п	Номер циркулярного письма, дата утверждения	Перечень измененных и дополненных пунктов
1.	010-2.2-222ц от 12.02.07	Бюллетень No.1: таблица 6.3.1, п.п.1.1.2.2, 1.4.2.6, 1.4.2.8, таблица 9.2.1, таблица 10.2.1, п.3.1.4.14, таблица 12.1.2, Приложение С (рис.С.2.2 и рис.С.2.3).
2.	010-2.2-318ц от 29.04.08	Бюл. 2: Разд. 2: 3.1.8.2, Разд. 4: 2.4.1.3, 2.4.1.4, 2.4.1.5, рис. 4.2.12, 4.2.13, табл. 4.2.2, 2.5.1.2, 2.5.2.1, 3.2.3.4, рис. 4.3.1, Разд. 6: 5.11.1.2, таб. 6.5.2, Разд. 8: 1.1.2.2, 1.1.2.5, 1.1.2.6, 2.3.1.2, 4.2.1.1, 4.2.4.1, Разд. 10: 3.3.4.1. Разд. 11: 1.3.1.1., 1.3.3.1, табл. 11.1.4, 1.3.4.1, 11.1.5, 1.3.4.2., 1.3.5,.1.3.5.1. Прилож. А: 2.3.4.1, 2.3.5.1, 2.3.7.1, 2.3.8.1. Прилож. С: таб. С.1.7

Общие правила по конструкции и прочности нефтеналивных судов с двойными бортами (2006 г.) Российского морского регистра судоходства утверждены в соответствии с действующим положением.

Настоящие Правила вступили в силу 1 апреля 2006 года.

Правила содержат две части: одна часть дана для информации и не включает конкретных требований, а другая содержит конструктивные требования для нефтеналивных судов с двойными бортами длиной 150 м или более.

Сведения для информации представлены в разделе 1 «Введение» и разделе 2 «Принципы построения Правил».

Конкретные требования правил представлены в разделах 3 – 12 и в приложениях.

Изменения редакционного характера, вступившие в силу 1 апреля 2006 года, включены в электронную версию Правил как отдельные документы:

“Corrigenda 1. Rule Editorials and Clarifications (April 2006);

“Corrigenda 2. Rule Editorials and Clarifications”.

Они также размещены на внутреннем веб-сайте Регистра.

В случае расхождения в текстах основным следует считать английский текст.

© Российский морской регистр судоходства, 2006
(Авторское право на данные Правила принадлежит также другим членам МАКО, 15 января 2006 г.)

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ

1 Введение к общим правилам по конструкции и прочности нефтеналивных судов 11
1.1 Общие положения 11
1.2 Применение Правил конкретного классификационного общества 11
1.3 Построение Правил 11

РАЗДЕЛ 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРАВИЛ

1 Введение 14
1.1 Принципы построения Правил 14

2 Общие допущения 14
2.1 Общие положения 14

3 Основа проектирования 16
3.1 Общие положения 16

4 Принципы проектирования 20
4.1 Общие принципы 20
4.2 Нагрузки 21
4.3 Оценка несущей способности конструкции 24
4.4 Материалы и сварка 27
4.5 Критерии оценки/приемлемости 28
4.6 Принцип эквивалентных замен 29

5 Применение принципов 29
5.1 Общее представление о применении принципов 29
5.2 Процесс расчета прочности 29
5.3 Минимальные требования 31
5.4 Требования к несущей способности 31
5.5 Материалы 36
5.6 Применение требований Правил 36

РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ

1 Символ класса 39
1.1 Символ класса 39

2 Требования к документации, чертежам и данным 39
2.1 Требования к документации и данным 39
2.2 Представление чертежей и вспомогательных расчетов 40

3 Объем одобрения 41
3.1 Общие положения 41
3.2 Классификация 42
3.3 Требования национальных и международных правил 42

4 Процедура эквивалентных замен 43
4.1 Общие положения 43

5 Расчет и оценка требований к размерам связей корпуса судна 43
5.1 Определение требований к размерам связей для листов 43
5.2 Определение размеров связей ребер жесткости 47

5.3 Расчет и оценка требований к размерам главных несущих элементов 51
5.4 Округление рассчитанной толщины 52

РАЗДЕЛ 4. ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1 Определения 53
1.1 Главные характеристики 53
1.2 Район 1 и Район 2 55
1.3 Надводный борт типа «А» и «В» 55
1.4 Система координат 55
1.5 Принятая терминология 56
1.6 Условные обозначения 58
1.7 Единицы измерения 58
1.8 Словарь специальных терминов 59

2 Конструктивная идеализация 67
2.1 Определение пролета 67
2.2 Определение шпации и ширины приложения нагрузки 75
2.3 Эффективная ширина обшивки 75
2.4 Геометрические характеристики элементов основного набора 81
2.5 Геометрические характеристики главных несущих элементов 90
2.6 Геометрические характеристики поперечного сечения эквивалентного бруса 92

3 Проектирование конструкции 98
3.1 Стандартные элементы конструкции 98
3.2 Окончание элементов основного набора 99
3.3 Окончание главных несущих элементов 103
3.4 Пересечения непрерывных элементов основного набора и главных несущих элементов 105
3.5 Отверстия 112
3.6 Элементы основного набора 114
3.7 Усталостная прочность 115

РАЗДЕЛ 5. КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА СУДНА

1 Общие положения 116
1.1 Введение 116

2 Деление на водонепроницаемые отсеки 116
2.1 Размещение водонепроницаемых переборок 116
2.2 Положение таранной переборки 116
2.3 Положение ахтерпиковой переборки 117

3 Устройство двойного корпуса 117
3.1 Общие положения 117
3.2 Двойное дно 118
3.3 Двойной борт 118

4 Разделение помещений 118
4.1 Разделение грузовых танков 118
4.2 Пространства коффердамов 118

5 Устройства для доступа 119
5.1 Доступ в пространства и в их пределах в районе грузовых танков и в нос от него 119

РАЗДЕЛ 6. МАТЕРИАЛЫ И СВАРКА

1 Категории стали 120
1.1 Судостроительная сталь 120
1.2 Применение стальных материалов 121
1.3 Алюминиевые сплавы 122

2 Защита от коррозии, включая покрытия 123
2.1 Защита корпуса 123

3 Надбавки на коррозию 125
3.1 Общие положения 125
3.2 Надбавки на местную коррозию 125
3.3 Применение надбавок на коррозию 128

4 Изготовление 130
4.1 Общие положения 130
4.2 Холодная гибка 131
4.3 Горячая гибка 132
4.4 Сварка 132

5 Выбор сварного шва и его размеры 133
5.1 Общие положения 133
5.2 Стыковые соединения 134
5.3 Тавровые или крестообразные соединения 134
5.4 Соединения внахлестку 139
5.5 Прорезные сварные швы 140
5.6 Приваренные шпильки 141
5.7 Определение размера швов 141
5.8 Сварные швы для конструкций, подверженных высоким растягивающим напряжениям 145
5.9 Уменьшенный размер шва 145
5.10 Концевые соединения пиллерсов и распорок 147
5.11 Альтернативы 147

РАЗДЕЛ 7. НАГРУЗКИ

1 Введение 153
1.1 Общие положения 153
1.2 Определения 153

2 Статические составляющие нагрузки 155
2.1 Статические нагрузки на корпус судна 155
2.2 Местные статические нагрузки 159

3 Динамические составляющие нагрузки 162
3.1 Общие положения 162
3.2 Качка 163
3.3 Ускорения судна 165
3.4 Динамические нагрузки на корпус судна 167
3.5 Динамические местные нагрузки 171

4 Нагрузки от ударов жидкости о стенки цистерны и ударные нагрузки 180
4.1 Общие положения 180
4.2 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны 180
4.3 Ударные нагрузки от воздействия волн при ударах о воду днища судна 186
4.4 Ударные нагрузки при ударах о воду носа судна 188

5 Случайные нагрузки 190
5.1 Затопленное состояние 190

6 Сочетание нагрузок 190
6.1 Общие положения 190
6.2 Сочетание расчетных нагрузок 190
6.3 Приложение динамических нагрузок 192
6.4 Варианты динамической нагрузки и коэффициенты сочетания динамических нагрузок для оценки прочности 201
6.5 Варианты динамической нагрузки и сочетание динамических нагрузок для требований к размерам связей корпуса 202

РАЗДЕЛ 8. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕРАМ СВЯЗЕЙ КОРПУСА

1 Продольная прочность 208
1.1 Руководящая информация по загрузке 208
1.2 Прочность корпуса на изгиб 212
1.3 Прочность эквивалентного бруса при сдвиге 215
1.4 Устойчивость корпуса 224
1.5 Усталостная прочность корпуса 227
1.6 Уменьшение размеров и конструктивная целостность продольных элементов эквивалентного бруса по длине корпуса 228

2 Район грузовых танков 231
2.1 Общие положения 231
2.2 Наружная обшивка корпуса 233
2.3 Набор корпуса 235
2.4 Второе дно 236
2.5 Переборки 236
2.6 Главные несущие элементы 251

3 Конструкция в нос от носового грузового танка 268
3.1 Общие положения 268
3.2 Конструкция днища 270
3.3 Конструкция борта 271
3.4 Конструкция палубы 273
3.5 Переборки танков 274
3.6 Водонепроницаемые границы танка 274
3.7 Надстройка 275
3.8 Прочие конструкции 275
3.9 Требования к размерам связей 276

4 Машинное помещение 283
4.1 Общие положения 283
4.2 Конструкция днища 285
4.3 Конструкция борта 286
4.4 Конструкция палубы 287
4.5 Фундаменты под механизмы 289
4.6 Переборки танков 289
4.7 Непроницаемые границы танка 291
4.8 Требования к размерам связей 291

5 Кормовая оконечность 294
5.1 Общие положения 294
5.2 Конструкция днища 296
5.3 Конструкция наружной обшивки 298
5.4 Конструкция палубы 300

5.5 Переборки танков 301
5.6 Водонепроницаемые границы танка 302
5.7 Прочие конструкции 302

6 Оценка конструкции на нагрузки от удара жидкости о стенки танка и ударные нагрузки 303
6.1 Общие положения 303
6.2 Нагрузки от удара жидкости о стенки танков 303
6.3 Днищевой слемминг 311
6.4 Ударные нагрузки на нос судна 315

7 Применение требований к размерам связей к прочим конструкциям 320
7.1 Общие положения 320
7.2 Требования к размерам связей корпуса 321

РАЗДЕЛ 9. ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ КОСТРУКЦИИ

1 Предельная прочность эквивалентного бруса 329
1.1 Общие положения 329
1.2 Критерии согласно Правилам 329
1.3 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб 329
1.4 Коэффициенты безопасности 330

2 Оценка прочности (методом конечных элементов) 330
2.1 Общие положения 330
2.2 Анализ прочности конструкции грузового танка 333
2.3 Локальный анализ прочности конструкции с использованием сетки с малым шагом 336
2.4 Применение размеров в грузовой зоне 338

3 Усталостная прочность 341
3.1 Оценка усталости 341
3.2 Критерии усталости 342
3.3 Места для проведения оценки усталостной прочности 343
3.4 Методы оценки усталости 343

РАЗДЕЛ 10. УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРЕДЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

1 Общие положения 344
1.1 Критерии устойчивости 344

2 Жесткость и соразмерность 344
2.1 Конструктивные элементы 344
2.2 Листы и элементы основного набора 345
2.3 Главные несущие элементы 346
2.4 Прочие конструкции 348

3 Требования к устойчивости 350
3.1 Общие положения 350
3.2 Устойчивость листов 350
3.3 Устойчивость ребер жесткости 355
3.4 Главные несущие элементы 359
3.5 Прочие конструкции 360

4 Анализ устойчивости 364
4.1 Общие положения 364

РАЗДЕЛ 11. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1 Конструкции отверстий и закрытий корпуса 365
1.1 Отверстия в обшивке и палубе 365
1.2 Вентиляторы 371
1.3 Воздушные и измерительные трубы танков 373
1.4 Надстройки и трапы, соединяющие палубы 376
1.5 Шпигаты, приемные и отливные отверстия 383

2 Защита экипажа 387
2.1 Фальшборт и леерное ограждение 387
2.2 Доступ в танки 390
2.3 Доступ в носовую часть 390

3 Несущие конструкции и дополнительные элементы конструкции 392
3.1 Несущие конструкции палубного оборудования 392
3.2 Докование 404
3.3 Скуловые кили 405

4 Оборудование 409
4.1 Характеристика снабжения 409
4.2 Якоря и швартовное оборудование 410
4.3 Аварийная буксировка 422

5 Процедуры испытаний 422
5.1 Испытание танков 422

РАЗДЕЛ 12. КРИТЕРИИ ЗАМЕНЫ СУДНА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

1 Допустимое уменьшение толщины конструкции корпуса 428
1.1 Общие положения 428
1.2 Оценка замеров толщины 428
1.3 Категории коррозии 429
1.4 Критерии замены участков с общей коррозией 431
1.5 Критерии замены для параметров сечения эквивалентного бруса при воздействии общей коррозии 434
1.6 Допустимое утоньшение материала, вследствие язвенной, канавочной коррозии или коррозии кромок 435

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА

1 Общие положения 437
1.1 Определения 437
1.2 Применение 437
1.3 Допущения 438
1.4 Альтернативные методы 438

2 Расчет запаса предельной прочности эквивалентного бруса 439
2.1 Пошаговый метод расчета запаса предельной прочности 439
2.2 Упрощенный метод, основанный на шагово-итерационном методе 440
2.3 Кривые напряжения и деформации σ-ε (или кривые нагрузки-укорочения) 444

3 Альтернативные методы 448
3.1 Общие положения 448
3.2 Методы 449

ПРИЛОЖЕНИЕ B. ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ

1 Общие положения 450
1.1 Область применения 450
1.2 Условные обозначения и определения 452

2 Анализ конструктивной прочности грузовых танков 453
2.1 Оценка 453
2.2 Построение моделей для исследования конструкций 453
2.3 Режимы нагрузки 462
2.4 Приложение нагрузок 469
2.5 Методика корректирования перерезывающих сил и изгибающих моментов эквивалентного бруса 473
2.6 Граничные условия 482
2.7 Оценка результатов 486

3 Локальный анализ прочности конструкции с использованием мелкой сетки 489
3.1 Общие положения 489
3.2 Моделирование конструкции 500
3.3 Случаи нагрузки 513
3.4 Приложение нагрузок и граничные условия 513
3.5 Оценка результатов и критерии приемлемости 514

4 Оценка напряжений в жестких точках для анализа усталости 514
4.1 Область применения 514
4.2 Моделирование конструкций 514
4.3 Случаи нагрузки 518
4.4 Граничные условия 522
4.5 Оценка результатов 522

ПРИЛОЖЕНИЕ C. ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

1 Подход к номинальным напряжениям 525
1.1 Общие положения 525
1.2 Модель коррозии 525
1.3 Нагрузки 525
1.4 Расчет усталостного повреждения 527
1.5 Классификация элементов конструкции 546
1.6 Прочие элементы конструкции 557

2 Подход, основанный на напряжении в зоне концентрации напряжений (на основе конечных элементов) 557
2.1 Общие положения 557
2.2 Модель коррозии 559
2.3 Нагрузки 559
2.4 Расчет усталостного повреждения 559
2.5 Стандарт конструкции детали 561

ПРИЛОЖЕНИЕ D. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ

1 Анализ устойчивости 567
1.1 Общие положения 567

2 Метод анализа устойчивости 568
2.1 Общие положения 568

3 Принципы применения и построения модели для исследования конструкции 571
3.1 Общие положения 571

4 Критерии оценки 572
4.1 Общие положения 572
4.2 Коэффициенты запаса по устойчивости 573

5 Оценка прочности (метод конечных элементов) – методика оценки потери устойчивости 574
5.1 Общие положения 574
5.2 Моделирование конструкции и метод оценки несущей способности 574
5.3 Приложение нагрузок 580
5.4 Ограничения метода оценки устойчивости 581

6 Оценка предельной прочности эквивалентного бруса 581
6.1 Общие положения 581
6.2 Приложение нагрузок 582
6.3 Моделирование конструкции и оценка устойчивости 582

РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ

1 Введение к Общим правилам по конструкции и прочности нефтеналивных судов

1.1 Общие положения

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Настоящие Правила распространяются на нефтеналивные суда с двойными бортами длиной 150 м или более, имеющие класс конкретного классификационного общества, контракт на постройку которых заключен 1 апреля 2006 г. или после этой даты[1].

1.1.1.2 В общем случае к нефтеналивным судам длиной менее 150 м должны применяться Правила конкретного классификационного общества.

1.1.1.3 Суда, контракт на постройку которых был заключен до вступления в силу настоящих Правил, должны соответствовать Правилам конкретного классификационного общества.

[1] Примечание

Дата заключения контракта на постройку означает дату, на которую был подписан контракт на постройку судна между судовладельцем и судостроителем. Для более подробной информации относительно даты контракта на постройку – см. Процедурное требование МАКО №29.

1.2 Применение Правил конкретного классификационного общества

1.2.1 Районы судна, к которым настоящие Правила не применяются

1.2.1.1 Для районов судна, к которым настоящие Правила не применяются, должны применяться соответствующие требования Правил конкретного классификационного общества.

1.3 Построение Правил

1.3.1 Структура

1.3.1.1 Правила состоят из разделов, содержащих указания по применению и требования, выполнение которых необходимо для достижения целей Правил. Допустимые методики для анализа прочности конструкции, требуемого Правилами, приведены в приложениях.

1.3.2 Нумерация и перекрестные ссылки

1.3.2.1 Система нумерации разделов и подразделов приведена в *табл. 1.1.1*.

Таблица 1.1.1

Нумерация разделов		
Порядок	**Уровень**	**Пример**
1	Название раздела (представлено в заголовке)	Раздел 1 – Введение
2	Подраздел	1 Введение к Общим правилам …
3	Подраздел 2	1.1 Общие положения
4	Подраздел 3	1.1.1 Область применения
5	Номер пункта	1.1.1.1 Настоящие Правила распространяются…

1.3.2.2 Система нумерации таблиц и рисунков представлена в *табл. 1.1.2*.

Таблица 1.1.2

Нумерация таблиц и рисунков	
Местонахождение таблицы в документе	**Пример нумерации**
Раздел 5, Подраздел 1, 2 таблица в подразделе	Таблица 5.1.2
Раздел 1, Подраздел 12, 5 таблица в подразделе	Таблица 1.12.5
Раздел 10, Подраздел 4, 3 таблица в подразделе	Таблица 10.4.3
Местонахождение рисунка в документе	
Раздел 5, Подраздел 1, 2 рисунок в подразделе	Рис. 5.1.2
Раздел 1, Подраздел 12, 5 рисунок в подразделе	Рис. 1.12.5
Раздел 10, Подраздел 4, 3 рисунок в подразделе	Рис. 10.4.3

1.3.2.3 Перекрестные ссылки даны *курсивом* по всему документу.

1.3.2.4 Перекрестные ссылки в пределах раздела (местные) представлены в виде номера подраздела или пункта, например, *4.2* или *4.2.1.1*. См. *табл. 1.1.3*.

1.3.2.5 Перекрестные ссылки за пределами раздела (по всему документу) представлены как номер раздела/подраздела или пункта, например, *раздел 4/2.1.1.3*. См. *табл. 1.1.3*.

Таблица 1.1.3

Применение перекрестных ссылок		
Местонахождение ссылки	**Пример перекрестной ссылки**	
Местная ссылка (в пределах раздела)		
Текст в подразделе 4.2	См. *4.2*	в *4.2*
Текст в подразделе 6.2.2	См. *6.2.2*	в *6.2.2*
Текст в пункте 5.1.2.1	См. *5.1.2.1*	в *5.1.2.1*
Ссылка по всему документу (за пределами раздела)		
Текст в разделе 6, подраздел 4.2	раздел *6/4.2*	
Текст в разделе 6, подраздел 6.2.2	раздел *6/6.2.2*	
Текст в разделе 6, пункт 5.1.2.1	раздел *6/5.1.2.1*	

1.3.3 Общая организация Правил

1.3.3.1 Общая организация Правил представлена на *рис. 1.1.1*.

Рис. 1.1.1
Схематическое построение Правил

Тема	Разделы
Введение	1
Принципы построения Правил	2
Применение Правил	3
Основная информация	4
Конструкция корпуса судна	5
Материалы и сварка	6
Нагрузки	7

Кормовая оконечность и машинные помещения

Тема	Разделы
Общая конструкция машинных помещений	8/4.1
Конструкция днища машинных помещений	8/4.2
Бортовая конструкция машинных помещений	8/4.3
Палубная конструкция машинных помещений	8/4.4
Внутренняя конструкция машинных помещений	8/4.5-4.8
Общая конструкция кормовой оконечности	8/5.1
Днищевая конструкция кормовой оконечности	8/5.2
Конструкция наружной обшивки кормовой оконечности	8/5.3
Палубная конструкция кормовой оконечности	8/5.4
Внутренняя конструкция кормовой оконечности	8/5.5-5.7

Грузовая зона

Тема	Разделы
Общая прочность	8/1
Наружная обшивка	8/2.2
Набор наружной обшивки	8/2.3
Второе дно	8/2.4
Переборки	8/2.5
Основные опорные конструктивные связи	8/2.6
Удары жидкости в стенки цистерны	8/6.2
Предельная прочность эквивалентного бруса	9/1
Оценка прочности (МКЭ)	9/2
Усталостная прочность	9/3

Носовая оконечность

Тема	Разделы
Общая конструкция	8/3.1
Конструкция днища	8/3.2
Бортовая конструкция	8/3.3
Палубная конструкция	8/3.4
Внутренняя конструкция	8/3.5-3.9
Днищевой слеминг	8/6.3
Волновое воздействие в носовой оконечности	8/6.4

Тема	Разделы
Отверстия в корпусе и устройства закрытия	11/1
Защита экипажа	11/2
Подкрепления и конструктивные выступающие части	11/3
Оборудование	11/4
Процедура проведения испытаний	11/5
Критерий обновления для судна в эксплуатации	12

РАЗДЕЛ 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРАВИЛ

1 Введение

1.1 Принципы построения Правил

1.1.1 Цель Правил

1.1.1.1 Целью Правил является установление требований для снижения рисков повреждения корпусных конструкций в целях повышения безопасности человеческой жизни, окружающей среды и материальных ценностей, а также обеспечения достаточной долговечности конструкции корпуса в течение расчетного срока службы.

1.1.2 Общие положения

1.1.2.1 Подразделы включают:

а) Общие допущения, относящиеся к проектированию, постройке и эксплуатации судна и предоставляющие информацию об ответственности классификационных обществ, судостроителей и судовладельцев;
б) Основу проектирования, представляющую основы принципов проектирования, содержащихся в Правилах, в отношении проектных характеристик и допущений, касающихся эксплуатации судна;
в) Принципы проектирования, которые определяют основные принципы конструктивных требований, содержащихся в Правилах, в отношении нагрузок, несущей способности конструкции и критериев оценки;
г) Применение принципов проектирования с описанием порядка применения принципов и методов проектирования, а также критериев, используемых для подтверждения соответствия конструкции поставленной задаче.

2 Общие допущения

2.1 Общие положения

2.1.1 Международные и национальные правила

2.1.1.1 Суда должны проектироваться, строиться и эксплуатироваться в соответствии с нормативными рамками, установленными в международном масштабе Международной морской организацией и внедренными национальными администрациями.

2.1.1.2 Правила основаны на допущении, что выполняются все применимые конвенционные требования.

2.1.1.3 Правила включают Унифицированные требования МАКО, как показано в *табл. 2.2.1*.

2.1.2 Классификационные общества

2.1.2.1 Классификационные общества разрабатывают и публикуют стандарты для конструкции корпуса и ответственных инженерных систем. По поручению национальной администрации классификационные общества проводят аудиторские проверки при проектировании, постройке и эксплуатации судна с целью подтверждения соответствия классификационным требованиям и применимым международным нормам.

Таблица 2.2.1

Унифицированные требования МАКО, применимые к нефтеналивные судам

№	Название
A1	*Оборудование*
S1	*Требования к вариантам нагрузки, инструкциям по загрузке и приборам контроля загрузки*
S2	*Определения длины судна L и коэффициента общей полноты* C_b
S3	*Прочность концевых переборок надстроек и рубок*
S4	*Критерии для применения высокопрочной стали с пределом текучести 315 Н/мм² и 355 Н/мм² (в отношении продольной прочности)*
S5	*Расчет момента сопротивления мидельшпангоута для конвенционного судна по размерам связей корпуса судна*
S6	*Применение категорий стали для разных элементов корпуса – суда длиной 90 м и более*
S7	*Нормы минимальной продольной прочности*
S11	*Норма продольной прочности*
S13	*Прочность носовой части днища нефтеналивных судов*
S14	*Порядок испытаний водонепроницаемых отсеков*
S26	*Прочность и задраивание малых люков на открытой носовой части палубы*
S27	*Требования к прочности арматуры и устройств в носовой части палубы*

2.1.3 Ответственность классификационных обществ, судостроителей и судовладельцев

2.1.3.1 Настоящие Правила рассматривают вопросы классификации, связанные с конструкцией корпуса, и не включают требования, относящиеся к проверке соответствия Правилам в период постройки и эксплуатации. Проверка соответствия настоящим Правилам является обязанностью всех заинтересованных сторон и требует от всех должного внимания и соответствующих действий по ее проведению. К ответственности относится следующее:

а) общие вопросы:
- соответствующие информация и документация, связанные с проектированием, постройкой и эксплуатацией, должны доводиться до сведения всех заинтересованных сторон четко и эффективно. Строитель несет ответственность за предоставление проектной документации согласно требованиям, указанным в Правилах. Другие требования к информации и документации определяются требованиями и порядком одобрения конкретного классификационного общества;
- для обеспечения соответствия требованиям Правил при проектировании, постройке, эксплуатации и техническом обслуживании применяются системы качества;

б) вопросы проектирования:
- судовладелец должен указать назначение судна, а судостроитель – обеспечить соответствие эксплуатационных характеристик проекта требованиям судовладельца, а также конструктивным требованиям, содержащимся в Правилах;
- судостроитель должен выявить и документировать эксплуатационные ограничения для судна, чтобы оно могло безопасно и эффективно работать в пределах этих ограничений;
- проверка проекта осуществляется судостроителем в целях проверки соответствия положениям Правил в дополнение к национальным и международным нормам;
- проектирование осуществляется персоналом, имеющим соответствующие квалификацию, компетенцию и опыт;
- классификационное общество несет ответственность за техническое рассмотрение и проверку проектных чертежей и сопутствующей документации по судну с целью проверки соответствия применимым правилам классификации;

в) вопросы постройки:
- судостроитель несет ответственность за обеспечение надлежащего наблюдения и контроля качества в процессе постройки;
- постройка должна осуществляться квалифицированным и опытным персоналом;
- качество работ, включая регулировки и допустимые отклонения, должно соответствовать применимым судостроительным нормам;
- классификационное общество несет ответственность за проведение проверки с целью подтверждения соответствия постройки и контроля качества планам и процедурам;

г) вопросы эксплуатации:
- судовладелец должен обеспечить, чтобы экипаж знал и учитывал эксплуатационные ограничения судна;
- судовладелец должен обеспечить соответствующую подготовку экипажа, позволяющую надлежащим образом эксплуатировать судно, обеспечивая минимальные нагрузки и результирующие напряжения в конструкциях;
- судовладелец должен обеспечить поддержание судна в надлежащем техническом состоянии и в соответствии с программой освидетельствования классификационного общества, а также в соответствии с международными и национальными нормами и требованиями;
- классификационное общество несет ответственность за проведение проверки с целью подтверждения соответствия судна условиям класса в соответствии с программой освидетельствования классификационного общества.

3 Основа проектирования

3.1 Общие положения

3.1.1 Основа проектирования

3.1.1.1 Настоящий подраздел устанавливает проектные характеристики и допущения относительно эксплуатации судна, которые используются в качестве основы для принципов проектирования, содержащихся в Правилах.

3.1.1.2 Правила применяются к судам в соответствии с указанной основой проектирования. Особое внимание должно уделяться отклонениям от основы проектирования.

3.1.1.3 Основа проектирования, используемая для проекта каждого судна, должна быть документирована и представлена классификационному обществу как отдельная часть для рассмотрения и одобрения проекта. Классификационное общество должно быть официально уведомлено обо всех отклонениях от основы проектирования.

3.1.2 Конструктивный тип

3.1.2.1 Правила распространяются на типовые нефтеналивные суда с двойными бортами длиной 150 м или более, имеющие следующие конструкции:

а) машинное отделение и рубку, расположенную в корму от района грузовых танков, и
б) в дополнение к внутреннему корпусу, две продольные нефтенепроницаемые переборки без продольной переборки в ДП, или
в) в дополнение к внутреннему корпусу, одну продольную нефтенепроницаемую переборку в ДП.

3.1.2.2 Считается, что корпус судна:

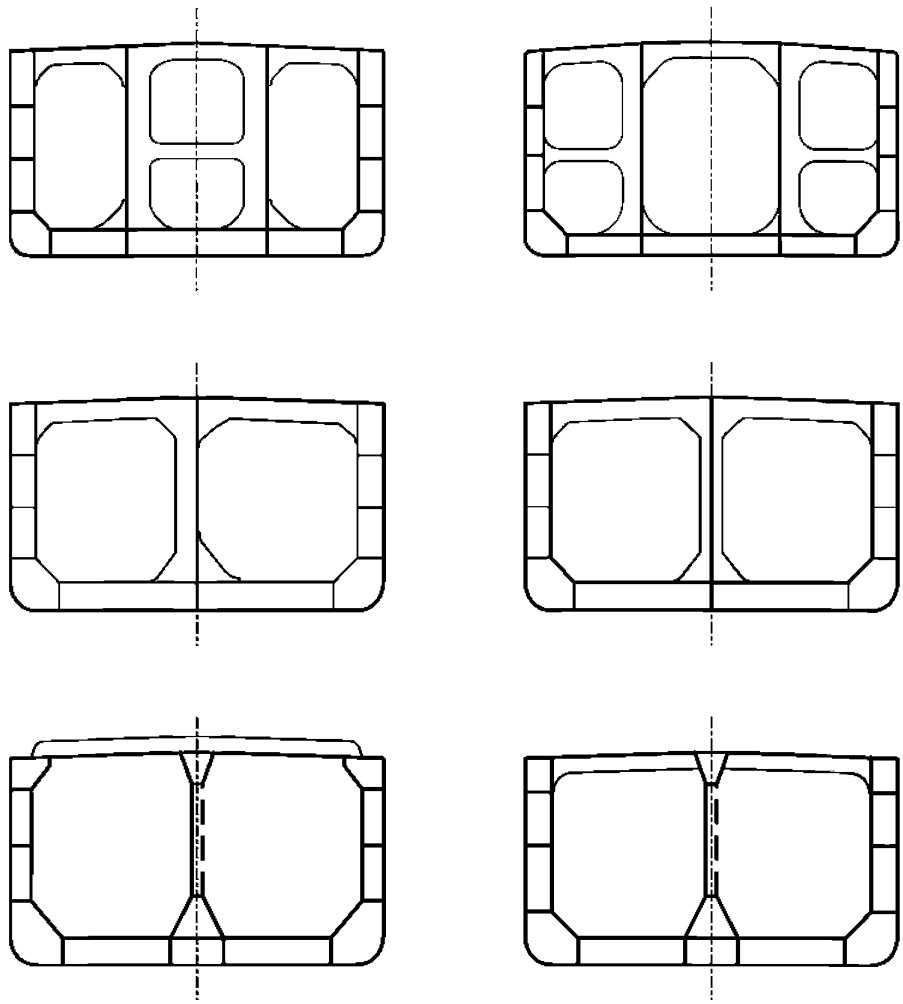
а) собирается из стальных сварных конструкций;
б) состоит из подкрепленных листовых секций;
в) построен по продольной системе набора с полными поперечными переборками и промежуточными рамными шпангоутами.

3.1.2.3 На *рис. 2.3.1* показаны типовые конструкции, на которые распространяются Правила, и считается, что конструктивное исполнение включает:

а) узкую конструкцию двойного борта и конструкцию двойного дна шириной/высотой в соответствии с конвенционными требованиями;
б) однопалубные суда;
в) бортовые продольные, продольные или поперечные переборки в ДП плоской, гофрированной или двойной конструкции;
г) количество и расположение переборок – в соответствии с конвенционными требованиями.

Поперечные сечения, показанные на *рис. 2.3.1*, даны как типовые примеры. Правила также распространяются на другие варианты конструкций с распорками и рамными шпангоутами.

Рис. 2.3.1
Типовые конструкции нефтеналивных судов с двойными бортами



3.1.2.4 С учетом нагрузки на окружающую среду в Правилах принята следующая форма корпуса:

а) коэффициент общей полноты (C_b) свыше 0,7;
б) отношение длины судна к ширине (L/B) свыше 5;
в) отношение ширины судна к высоте борта (B/D) менее 2,5;

г) метацентрическая высота (GM), не более чем $0{,}12B$ для случая загрузки однородным грузом в полном грузу, и $0{,}33B$ – в балласте.

3.1.3 Расчетный срок службы

3.1.3.1 Для выбора соответствующих проектных характеристик судна номинальный расчетный срок службы принимается 25 лет. Спецификационный расчетный срок службы является номинальным периодом нахождения судна в условиях эксплуатации. Однако фактический срок службы судна может быть длиннее или короче в зависимости от реальных условий эксплуатации и технического обслуживания судна в течение его срока службы.

3.1.4 Расчетная скорость судна

3.1.4.1 Расчетная максимальная эксплуатационная скорость судна должна указываться проектантом. В Правилах подразумевается, что судно может постоянно работать при такой скорости, но это не освобождает судовладельца и персонал от ответственности за надлежащую эксплуатацию судна и снижение скорости или изменение курса при неблагоприятных погодных условиях – см. *2.1.3.1(г)*.

3.1.5 Условия эксплуатации

3.1.5.1 Судно должно быть способным перевозить заданный груз с необходимым эксплуатационным запасом с целью соответствия проектной задаче. Проектант несет ответственность за определение вариантов нагрузки согласно Правилам и любых дополнительных вариантов нагрузки по требованию судовладельца.

3.1.5.2 В Правилах принято следующее:

а) рассматривается минимальный перечень установленных вариантов нагрузки согласно Правилам. Перечень должен включать варианты нагрузки в море и в порту;
б) в дополнение к вышеуказанному перечню на рассмотрение должны быть представлены все соответствующие дополнительные варианты нагрузки, возможные при эксплуатации судна, которые могут привести к повышенным перерезывающим силам на тихой воде, изгибающим моментам или повышенным местным статическим нагрузкам;
в) Информация по посадке и остойчивости, Инструкция по загрузке и компьютерные системы по загрузке устанавливают эксплуатационные ограничения судна, которые должны отвечать соответствующим конвенционным и классификационным требованиям;
г) все грузовые танки с точки зрения местной прочности, включая удары жидкости в стенки танка, проектируются для неограниченного заполнения при плотности груза согласно *3.1.8*. Однако ограничения по вариантам нагрузки с полными или порожними смежными танками согласно Правилам и Инструкции по загрузке касаются главных несущих элементов и перерезывающих сил и изгибающих моментов эквивалентного бруса.

3.1.6 Эксплуатационные осадки

3.1.6.1 Расчетные эксплуатационные осадки должны указываться проектантом и использоваться для определения соответствующих размеров связей корпуса судна. Все эксплуатационные варианты нагрузки в Инструкции по загрузке должны соответствовать установленным расчетным эксплуатационным осадкам. Как минимум, подлежат рассмотрению следующие расчетные эксплуатационные осадки:

а) максимальная и минимальная средние эксплуатационные осадки;
б) максимальная осадка по условиям прочности для оценки несущей способности конструкции;
в) минимальные осадки носом для оценки днищевого слеминга с заполненными и порожними балластными цистернами в носу;
г) максимальная средняя осадка для варианта, когда весь ряд грузовых танков состоит из порожних танков;

д) максимальная средняя осадка для варианта, когда центральный или бортовый грузовой танк порожний.

3.1.7 Окружающая среда

3.1.7.1 Чтобы учесть особенности мировых грузопотоков и возможные варианты будущей эксплуатации судна, а также соответствующих волновых условий, возможных при эксплуатации, для оценки проекта используются сложные волновые условия. Требования Правил устанавливаются исходя из эксплуатации судна в волновых условиях Северной Атлантики в течение всего срока службы.

3.1.7.2 Воздействия ветра и течения на конструкцию считаются несущественными и намеренно не рассматриваются.

3.1.7.3 Воздействие льда в Правилах не рассматривается.

3.1.7.4 В Правилах считается, что оценка несущей способности конструкции достоверна для следующих расчетных температур:

а) наименьшая средняя суточная температура воздуха – минус 15 °С;
б) наименьшая средняя суточная температура морской воды – 0 °С.

К судам, работающим длительное время в районах с более низкой средней суточной температурой воздуха, могут быть применены дополнительные требования, установленные конкретным классификационным обществом.

3.1.8 Внутренняя среда (грузовые танки и цистерны водяного балласта)

3.1.8.1 Для грузов нефти при оценке конструктивной прочности грузовых танков должен приниматься удельный вес 1,025 или большее значение, установленное проектантом.

3.1.8.2 При оценке усталости конструкции грузовых танков должно использоваться характерное среднее значение плотности груза на протяжении срока службы судна. Характерное среднее значение плотности должно приниматься равным 0,9 т/м³ или плотности груза при максимальной осадке по условиям прочности в условиях загрузки однородным грузом, смотря по тому, что больше.

3.1.8.3 Удельный вес 1,025 должен использоваться для водяного балласта.

3.1.8.4 Правила основаны на следующих расчетных температурах груза:

а) максимальная температура груза – 80 °С;
б) минимальная температура груза – 0 °С.

3.1.8.5 Проектные вопросы и допущение, на основе которого в Правилах установлены запасы на коррозию, следующие:

а) запасы на коррозию основаны на сочетании опыта и статистической оценки замеров коррозии на протяжении эксплуатации судна. Запасы на коррозию основаны на перевозке смеси сырой нефти и других нефтепродуктов, обладающих различными степенями коррозионных свойств;
б) запасы на коррозию основаны на расчетном сроке службы – см. *3.1.3.1*;
в) балластные цистерны имеют покрытие. Требования к нанесению покрытий и их обслуживанию в Правилах отсутствуют.

3.1.8.6 Значения запасов на коррозию и допусков на износ указаны в *разделе 6/3* и *разделе 12* соответственно.

3.1.9 Изготовление конструкций и контроль

3.1.9.1 Конструктивные требования, включенные в Правила, разработаны, основываясь на допущении, что при строительстве и ремонте используются принятые нормы и допустимые отклонения. Правила могут выдвигать дополнительные требования к критическим районам конструкции при строительстве и ремонте.

3.1.9.2 Испытания танков на прочность и непроницаемость должны проводиться как часть схемы проверки.

3.1.9.3 Правила определяют критерии обновления для отдельных конструктивных элементов. Включенные конструктивные требования разработаны с допущением, что конструкция будет подвергаться периодическому освидетельствованию в соответствии с правилами и руководствами конкретного классификационного общества. Все конструктивные элементы должны быть устроены так, чтобы обеспечить доступ для осмотра (см. *раздел 5/5*). Детальный осмотр критических районов должен проводиться на регулярной основе.

3.1.10 Дополнения судовладельца

3.1.10.1 Спецификация судовладельца с требованиями, превышающими общие классификационные или конвенционные требования, может повлиять на расчет конструкции. Дополнения судовладельца могут включать требования:

а) к анализу вибрации;
б) к максимальному проценту стали высокой прочности;
в) к дополнительным размерам связей сверх требуемых Правилами;
г) к дополнительному расчетному запасу по нагрузкам, установленным Правилами и т.д.;
д) к повышенной усталостной прочности в виде установленного увеличения расчетной усталостной долговечности или равноценной замены;
е) к комбинации вариантов нагрузки и осадок, помимо случаев, предусмотренных Правилами;
ж) к повышенной плотности груза для оценки усталости для судов, предназначенных для регулярной перевозки грузов высокой плотности при частичной загрузке.

На дополнения судовладельца Правила не распространяются. Дополнения судовладельца, которые могут повлиять на расчет конструкции, должны быть четко указаны в проектной документации.

4 Принципы проектирования

4.1 Общие принципы

4.1.1 Введение

4.1.1.1 Настоящий подраздел определяет основные принципы проектирования Правил с точки зрения нагрузок, моделирования конструктивных характеристик и критериев оценки, а также вопросов строительства и эксплуатации.

4.1.2 Общие положения

4.1.2.1 Правила основаны на следующих общих принципах:

а) безопасность конструкции может быть продемонстрирована рассмотрением возможного характера отказа(ов), когда судно подвержено эксплуатационным нагрузкам и внешним нагрузкам;
б) проект соответствует основе проектирования – см. *подраздел 3*;

в) конструктивные требования основаны на соответствующей совокупности нагрузок, которые представляют типовые наиболее неблагоприятные возможные варианты нагрузки;

г) конструктивные требования в отношении нагрузок, моделирования прочностных характеристик и критериев оценки представлены в модульном формате так, что каждый компонент требования четко идентифицирован.

4.1.2.2 Конструкция судна проектируется таким образом, чтобы:

а) она имела необходимый запас прочности. Конструкция судна имеет иерархическую структуру, и отказ низших конструктивных элементов не должен приводить к немедленному последующему отказу высших элементов;

б) остаточные деформации были минимальными. Остаточные деформации местных секций или отдельных элементов подкрепленной пластины допустимы при условии, что это не нарушает конструктивную целостность, герметичность или работу конструктивных или других систем;

в) трещинообразование в эксплуатации было минимальным, особенно в районах, которые влияют на конструктивную целостность, герметичность или работу конструктивных или других систем или трудны для осмотра и ремонта;

г) она имела достаточный запас прочности, чтобы выстоять в случае аварийного повреждения конструкции, например, незначительного столкновения, ведущего к затоплению любого отсека.

4.2 Нагрузки

4.2.1 Варианты нагрузки

4.2.1.1 Нагрузки, используемые для оценки несущей способности конструкции, охватывают варианты нагрузки, возможные при нахождении судна в море и в порту.

4.2.2 Комбинации расчетных нагрузок

4.2.2.1 Комбинации расчетных нагрузок сочетают местные и общие составляющие нагрузки, чтобы представить выявленные варианты нагрузки. Комбинации расчетных нагрузок должны быть достаточно жесткими и меняться так, чтобы охватить все вероятные варианты, возможные при нормальной эксплуатации.

4.2.2.2 Комбинации расчетных нагрузок для корпуса и конструктивных элементов рассматривают наиболее неблагоприятные комбинации воздействий нагрузок, чтобы поддержать соответствующий уровень безопасности для всех комбинаций.

4.2.2.3 Комбинации расчетных нагрузок основаны на одной из следующих комбинаций статических и динамических нагрузок в зависимости от категории нагрузки и рассматриваемого варианта нагрузки:

а) комбинации статических расчетных нагрузок охватывают применение всех действующих статических нагрузок и, как правило, охватывают варианты нагрузки в порту, при испытании танков или подобных операциях;

б) комбинации статических и динамических расчетных нагрузок охватывают применение всех действующих статических нагрузок и реальной комбинации одновременно возникающих динамических составляющих нагрузки и, как правило, охватывают варианты нагрузки при нахождении в море;

в) комбинации ударных расчетных нагрузок охватывают применение ударных нагрузок, таких как днищевой слеминг и удары в носовой оконечности при нахождении в море. Обычно считается достаточным не учитывать другие статические и динамические составляющие нагрузки в связи с наличием ударной нагрузки;

г) комбинации расчетных нагрузок при ударах жидкости в стенки танка охватывают применение нагрузок при ударах жидкости в стенки танка при нахождении в море;

д) усталостная расчетная нагрузка охватывает применение всех действующих динамических нагрузок;

е) комбинация случайных расчетных нагрузок охватывает применение случайных нагрузок, если они не учитываются при нормальной эксплуатации.

4.2.3 Категории нагрузки

4.2.3.1 Расчетные комбинации нагрузок включают много различных категорий нагрузки, представленных в *табл. 2.4.1*.

Таблица 2.4.1

Категории нагрузки

Эксплуатационные нагрузки	Водоизмещение судна порожнем	Вес стали и снабжение Механизмы и постоянное оборудование
	Нагрузки, вызванные плавучестью	Плавучесть судна
	Переменные нагрузки	Груз Водяной балласт Запасы и расходные материалы Экипаж Временное оборудование
	Другие нагрузки	Нагрузки от буксира и при ударе о причал Нагрузки при буксировке Нагрузки при стоянке на якоре и у причала Нагрузки от грузоподъемных устройств
Внешние нагрузки	Циклическое нагружение вследствие волнового воздействия, включая инерционные нагрузки	Динамическое волновое давление
		Динамические нагрузки и динамическое давление в танках вследствие ускорений судна
	Ударные или резонансные нагрузки	Удары волн Днищевой слеминг Удары жидкости в стенки танка Нагрузки при заливании палубы
Случайные нагрузки		Затопление отсеков
Нагрузки от деформаций		Термические нагрузки Построечные деформации

4.2.3.2 Эксплуатационные нагрузки обычно являются статическими. Они образуют группу, состоящую из водоизмещения судна порожнем, нагрузок, вызванных плавучестью, переменных нагрузок и других нагрузок. Эксплуатационные нагрузки возникают как следствие особенностей эксплуатации судна.

4.2.3.3 Внешние нагрузки являются динамическими вследствие внешних воздействий. Внешние нагрузки, рассматриваемые в Правилах, являются нагрузками вследствие волнового воздействия.

4.2.3.4 Случайные нагрузки включают те, которые появляются в результате аварии или ошибок при эксплуатации судна. Случайными нагрузками, рассматриваемыми в Правилах, является повышенное давление в танках вследствие затопления отсеков.

4.2.3.5 Нагрузки от деформаций вызываются термическими нагрузками и остаточными напряжениями. Воздействия нагрузок от деформаций в Правилах не рассматриваются.

4.2.4 Характерные значения нагрузок

4.2.4.1 Характерные значения составляющих нагрузки, применяемые в Правилах, зависят от рассматриваемой комбинации расчетных нагрузок. Характерные нагрузки являются типичными значениями и задаются:

а) для эксплуатационных нагрузок – ожидаемыми или спецификационными значениями;
б) для внешних нагрузок – как правило, значением нагрузки, которое имеет малую вероятность появления, т.е. «экстремальным» значением.

4.2.5 Эксплуатационные нагрузки

4.2.5.1 Характерные значения статического давления на корпус со стороны моря вследствие плавучести основаны на осадке для рассматриваемого варианта нагрузки.

4.2.5.2 Характерные значения статического давления в танке основаны на высоте заполнения и удельном весе груза/балласта и включают допуски на возможное избыточное давление вследствие высоты воздушных труб, уставок давления предохранительных клапанов и производительности насосов.

4.2.5.3 Характерные значения нагрузок вследствие наличия экипажа, запасов и расходных материалов, временного и постоянного оборудования основаны на установленных величинах.

4.2.5.4 Характерные значения нагрузок от буксиров, причалов, буксировки и швартовки основаны на установленных величинах.

4.2.6 Внешние нагрузки

4.2.6.1 Положения Правил для волновых нагрузок, приведенные в *разделе 7/3*, основаны на наибольших значениях, рассчитанных в соответствии с *4.2.6.2* и систематизированных исходя из опыта эксплуатации и модельных испытаний.

4.2.6.2 Общие принципы для определения значений волновых нагрузок следующие:

а) применение значений нагрузки постоянно для всех сходных вариантов нагрузки;
б) характерное значение нагрузки выбирается так, чтобы соответствовать цели применения нагрузки и выбранному методу оценки несущей способности конструкции, например, для оценки конструктивной прочности применяется наибольшая нагрузка, ожидаемая в течение срока службы, в то время как для оценки усталости – средняя величина, представляющая ожидаемое изменение нагрузки во времени;
в) расчеты нагрузок выполняются с использованием трехмерных линейных гидродинамических вычислительных методов. Учитывается влияние скорости;
г) определение характерных волновых нагрузок основано на долговременном статистическом подходе, который включает представление волновой среды (корреляционная диаграмма Северной Атлантики), вероятность курса судна/направления волн и вероятность превышения значения нагрузки, согласно *IACS Rec. 34*. Все это дает в результате наибольшие значения;
д) нелинейные воздействия рассматриваются для наибольших нагрузок, ожидаемых в течение срока службы.

4.2.6.3 В комбинации динамических нагрузок рассматриваются все одновременно возникающие динамические составляющие нагрузки. При определении одновременно возникающих нагрузок одна конкретная составляющая нагрузки максимизируется или минимизируется, и относительная величина всех одновременно возникающих динамических составляющих нагрузки определяется с помощью коэффициентов комбинации динамических нагрузок, основанных на наибольшем значении нагрузки. Коэффициенты комбинации динамических нагрузок основаны на применении подхода с использованием эквивалентной расчетной волны и приводятся как табличные значения.

4.2.6.4 Положения, касающиеся значений нагрузки для днищевого слеминга, ударных нагрузок в носовой части судна и нагрузки при заливании палубы, учитывают следующие факторы:

а) осадку судна;
б) форму корпуса;
в) курс судна;

г) скорость переднего хода;
д) местонахождение рубок/надстроек;
е) геометрию конструктивных элементов.

4.2.6.5 Ударная нагрузка от слеминга вызывает быстротечную динамическую реакцию в конструкции. Положения, касающиеся ударных нагрузок, рассматривают ударную нагрузку как эквивалентную статическую нагрузку, действующую на соответствующую внешнюю поверхность корпуса.

4.2.6.6 Влияние заливания палубной конструкции учитывается на всей длине судна. Нагрузки от заливания палубы в носовой и средней части судна определяются на основе модельных испытаний, качки судна и опыта эксплуатации. Нагрузки от заливания палубы для кормовой части судна согласуются с нагрузками для носовой и средней части судна.

4.2.7 Случайные нагрузки

4.2.7.1 Варианты случайных нагрузок распространяются на нагрузки, действующие на местные конструкции как последствие затопления в соответствии с допущениями, принятыми в правилах ИМО. Это относится к оценке границ деления на водонепроницаемые отсеки.

4.2.7.2 Учитываются только статические нагрузки, соответствующие осадке в затопленном состоянии.

4.2.8 Нагрузки от деформаций

4.2.8.1 Термические нагрузки в пределах, установленных в основах проектирования, считаются незначительными. Считается, что принимаются меры, чтобы предусмотреть и учесть ожидаемые температурные расширения.

4.3 Оценка несущей способности конструкции

4.3.1 Общие положения

4.3.1.1 Основной принцип при проектировании конструкции заключается в применении определенных расчетных нагрузок, выявлении возможных характеров отказа и применении соответствующего моделей прочностных характеристик для определения требуемых размеров связей корпуса судна.

4.3.2 Модели прочностных характеристик

4.3.2.1 Метод оценки конструктивной прочности должен обеспечивать анализ рассматриваемого характера отказа с требуемой степенью точностью. Могут применяться несколько методов оценки для одних и тех же характеров отказа.

4.3.2.2 Основой для выбора моделей прочностных характеристик являются следующие аспекты:

а) оценивается ли также конструктивный элемент на более высоком уровне в иерархии и/или на более поздней стадии более точными методами, или более точными расчетами реакций;
б) упрощенные модели прочностных характеристик, где пренебрегают некоторыми составляющими напряжения, всегда должны давать заниженные результаты;
в) соответствующая методология для оценки характера отказа;
г) уровень вероятности нагрузки;
д) способность расчетов реакций представить физическое поведение конструкции до данного уровня нагрузки;
е) сложность конструкции;
ж) сложность нагрузок;
з) критичность конструктивного элемента. Это будет в основном влиять на критерии оценки, но должно учитываться в связи с выбором соответствующей методологии для оценки несущей способности конструкции.

4.3.2.3 Методы оценки несущей способности конструкции представляются в нормативном формате или требуют использования более совершенных расчетов, таких как метод конечных элементов.

4.3.2.4 Формулы, применяемые для определения напряжений, деформаций и прочностных характеристик, соответствуют выбранному методу оценки несущей способности конструкции, а также типу и величине заданной расчетной нагрузки.

4.3.3 Модели усталостных характеристик

4.3.3.1 Требования Правил по защите конструктивных деталей от усталостного разрушения основаны на методе оценки усталости.

4.3.3.2 Модели усталостных характеристик основаны на линейном суммировании накопленных повреждений (правило Палгрем-Майнера) в сочетании с кривыми усталости, характерным диапазоном напряжений и принятой кривой долговременного распределения напряжений.

4.3.3.3 Модели оценки усталостных характеристик представляются в нормативном формате или требуют использования более совершенных расчетов, таких как метод конечных элементов. Этот метод учитывает совместное воздействие общих и местных динамических нагрузок.

4.3.4 Подход на основе толщины нетто

4.3.4.1 Подход на основе толщины нетто должен:

а) обеспечить прямую связь между толщиной, используемой для расчета прочности на стадии строительства, и минимальной толщиной принятой на стадии эксплуатации;
б) способствовать четкому определению состояния конструкции в отношении коррозии в течение всего срока службы судна.

4.3.4.2 Подход на основе толщины нетто различает общую и местную коррозию. Местная коррозия определяется как равномерная коррозия местных конструктивных элементов, таких как отдельная пластина или ребро жесткости. Общая коррозия определяется как общая средняя коррозия больших площадей, таких как главные несущие элементы и эквивалентный брус. Как местная, так и общая коррозия служат основой для рассмотрения новых судов и должны подтверждаться в процессе эксплуатации судна.

4.3.4.3 Подход на основе толщины нетто для местной коррозии показан на *рис. 2.4.1(а)* и с точки зрения толщин новых судов представлен следующим образом:

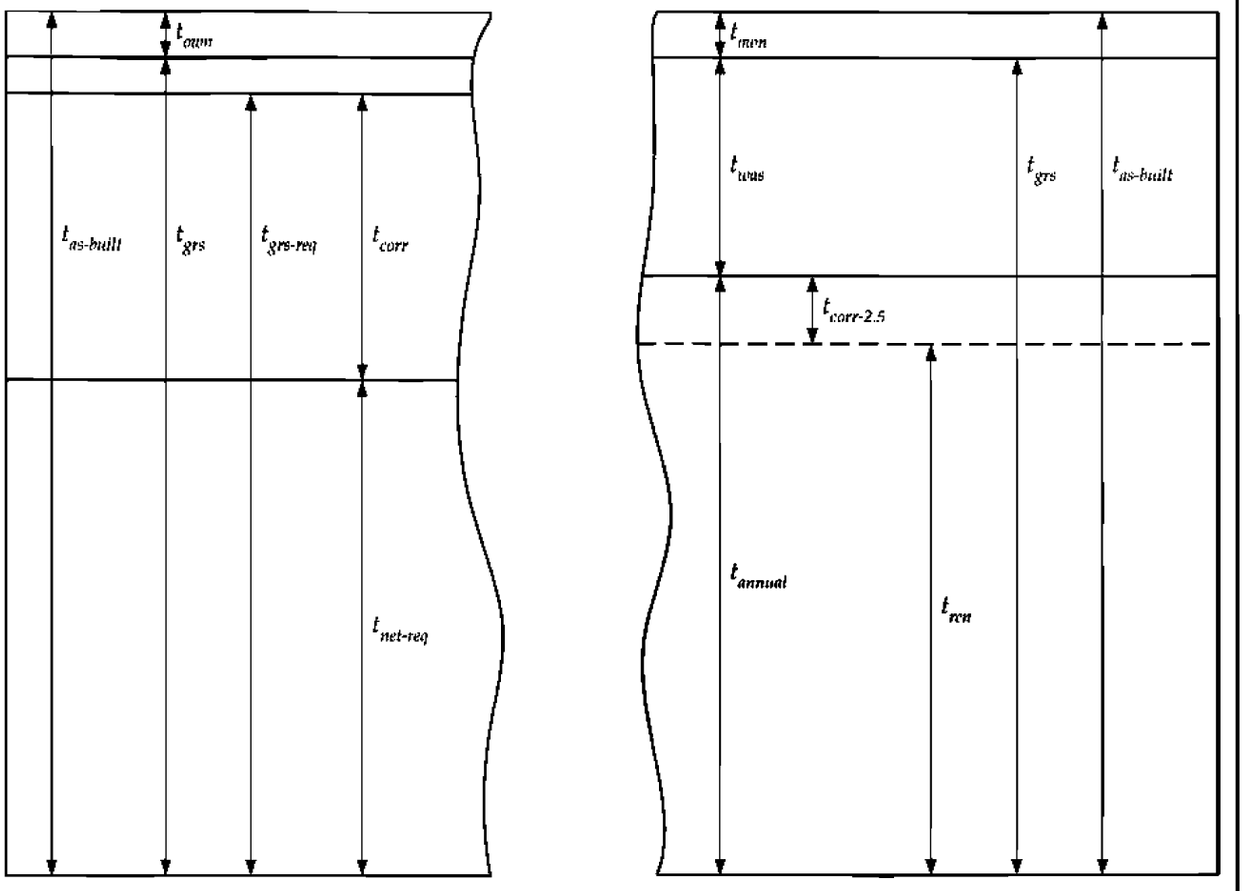
а) требования к местной прочности задаются толщиной нетто ($t_{net\text{-}req}$) после округления;
б) требуемая полная толщина ($t_{grs\text{-}req}$) задается прибавлением надбавки на коррозию (t_{corr}) к требуемой округленной толщине нетто ($t_{net\text{-}req}$);
в) полная толщина (t_{grs}) является фактической толщиной, выбранной проектантом для получения полной требуемой толщины ($t_{grs\text{-}req}$), и должна быть равной или превышать полную требуемую толщину ($t_{grs\text{-}req}$);
г) построечная толщина равна полной толщине (t_{grs}) плюс любой дополнительный запас толщины по условиям судовладельца (t_{own});
д) любые дополнительные толщины, определенные судовладельцем как дополнительный запас толщины (t_{own}), не должны включаться в оценку требуемой полной толщины ($t_{grs\text{-}req}$).

4.3.4.4 Подход на основе толщины нетто для определения местной толщины при обновлении корпуса в период эксплуатации судна показан на *рис. 2.4.1(б)* и представлен следующим образом:

а) толщина, при которой требуются ежегодные освидетельствования, t_{annual}, находится вычитанием полного допуска на износ (t_{was}) и дополнительного запаса толщины по условиям судовладельца (t_{own}) из построечной толщины ($t_{as\text{-}built}$);

Рис. 2.4.1
Подход на основе толщины нетто для местного износа

а) применительно к требованиям к размерам связей	б) применительно к требованиям к судну в эксплуатации



б) толщина, при которой требуется обновление, t_{ren}, находится вычитанием полного допуска на износ (t_{was}), толщины $t_{corr\text{-}2,5}$ и дополнительного запаса прочности по условиям судовладельца (t_{own}) из построечной толщины ($t_{as\text{-}built}$); $t_{corr\text{-}2,5}$ – допуск на износ, предусмотренный на коррозию в течение 2,5 лет между промежуточным и очередным освидетельствованиями;

в) приведенный полный допуск на износ является установленным Правилами допуском на износ (t_{was}) плюс резервный допуск на износ ($t_{corr\text{-}2,5}$) и плюс любой дополнительный запас прочности по условиям судовладельца (t_{own});

г) установленный Правилами допуск на износ (t_{was}), обеспеченный до проведения необходимых ежегодных освидетельствований, находится вычитанием толщины $t_{corr\text{-}2,5}$ из надбавки на коррозию (t_{corr}).

При данном подходе обычно требуется проводить освидетельствования через 2,5 года, когда измеренная толщина больше, чем «толщина, при которой требуется ежегодное освидетельствование» (t_{annual}), и через 1 год, когда измеренная толщина меньше, чем «толщина, при которой требуется ежегодное освидетельствование» (t_{annual}).

4.3.4.5 Общая средняя коррозия для главных несущих элементов и поперечного сечения эквивалентного бруса находится путем вычитания половины местной надбавки на коррозию (0,5 t_{corr}) по всем конструктивным элементам, образующим соответствующие поперечные сечения.

4.3.4.6 Оценка местных главных несущих элементов проводится на основе напряжений в эквивалентном брусе, определяемых характеристиками нетто эквивалентного бруса, например, на основе общей полной средней коррозии эквивалентного бруса и местных напряжений, основанных на толщине нетто рассматриваемой местной связи, например, на основе полной местной коррозии. Считается, что конструкция может иметь местную коррозию до установленного максимума, и что эквивалентный брус можно уменьшить на величину максимально допустимой полной коррозии для эквивалентного бруса.

4.3.4.7 Оценка общих (эквивалентный брус и главные несущие элементы) главных несущих элементов основывается на общей коррозии, например, половина полной местной коррозии одновременно для всех конструктивных элементов. Допускается, что полная местная коррозия не произойдет повсеместно, и поэтому уместно меньшее среднее значение допускаемой коррозии. Отдельные конструктивные элементы могут корродировать до максимальной надбавки на коррозию, и это учитывается при оценке устойчивости.

4.3.4.8 Поскольку усталость является совокупной характеристикой, главные несущие элементы и напряжения, используемые для оценки, должны приниматься как характерные средние значения для всего срока службы. Среднее значение коррозии на протяжении срока службы задается как половина величины коррозии, принятой при оценке прочности главных несущих элементов. Местные напряжения рассчитываются, таким образом, на основе половины величины полной местной надбавки на коррозию, а напряжения в эквивалентном брусе – на основе половины величины полной общей коррозии. Половина величины полной общей коррозии находится вычитанием четверти величины полной местной надбавки на коррозию по всем конструктивным элементам одновременно.

4.3.4.9 Фактическая величина износа, допускаемого при эксплуатации, принимается:

а) местного: полная надбавка на коррозию минус величина типичного износа между освидетельствованиями;
б) общего: полная общая надбавка на коррозию минус величина типичного износа между освидетельствованиями. Общий износ отслеживается при эксплуатации путем оценки фактических общих характеристик судна.

4.3.5 Целостность конструкции

4.3.5.1 Все расчеты прочности основаны на допущении, что конструкция не имеет повреждений. Остаточная прочность судна в условиях конструктивного повреждения не оценивается.

4.3.5.2 При оценке несущей способности конструкции никакого преимущества не предоставляется при наличии покрытий или подобных систем защиты от коррозии.

4.4 Материалы и сварка

4.4.1 Материалы

4.4.1.1 Требования Правил, связанные с выбором материалов для конструктивных элементов, основаны на местоположении, расчетной температуре (см. *3.1.7.4* и *3.1.8.4*), покрытии, силах действующих по толщине и критичности элемента. Требования соответствуют *IACS UR S6*.

4.4.1.2 Требования Правил основаны на допущении, что материал изготовлен в соответствии с предельными минусовыми допусками на прокатку по толщине согласно *IACS UR W13*.

4.4.2 Сварка

4.4.2.1 Требования Правил к типу, размеру и материалам сварного шва основаны на следующем:

а) тип соединения;
б) критичность соединения;

в) величина, тип и направление напряжений в соединении;
г) свойства материала для основного и наплавленного металла;
д) величина зазора при сварке.

4.5 Критерии оценки/приемлемости

4.5.1 Расчетные методы

4.5.1.1 Критерии для оценки главных несущих элементов основаны на одном из следующих расчетных методов:

а) метод расчета по допускаемым напряжениям (WSD), известный также как метод расчета по допускаемым напряжениям;
б) метод расчета по коэффициентам надежности (PF), известный также как расчет по предельным нагрузкам и сопротивлению (LRFD).

4.5.1.2 Для обоих методов приводятся два случая расчетной оценки и соответствующие критерии приемлемости. Эти случаи А и Б связаны с уровнем вероятности совместных нагрузок:

а) случай А применим к комбинациям расчетных нагрузок, основанным на «ожидаемых» характерных значениях нагрузки, и включает обычно комбинации статической расчетной нагрузки;
б) случай Б применим к комбинациям расчетных нагрузок, основанным на «предельных» характерных значениях нагрузки, и включает обычно комбинации статической и динамической нагрузки.

4.5.1.3 Метод WSD использует следующие формулы:

$W_{stat} \le \eta_1 R$ для случая А;

$W_{stat} + W_{dyn} \le \eta_2 R$ для случая Б,

где W_{stat} одновременно действующие статические нагрузки (или воздействие нагрузки с точки зрения напряжений);
W_{dyn} одновременно действующие динамические нагрузки. Динамические нагрузки обычно являются комбинацией местных и общих составляющих нагрузки;
R характерная несущая способность конструкции (например, предел текучести или потеря устойчивости);
η_i допускаемый коэффициент использования (коэффициент сопротивления).

Коэффициент использования включает рассмотрение погрешностей в нагрузках, несущей способности конструкции прочности и последствия отказа.

4.5.1.4 Метод PF использует следующие формулы:

$\gamma_{stat\text{-}1} W_{stat} + \gamma_{dyn\text{-}1} W_{dyn} \le R/\gamma_R$ для случая А;

$\gamma_{stat\text{-}2} W_{stat} + \gamma_{dyn\text{-}2} W_{dyn} \le R/\gamma_R$ для случая Б,

где $\gamma_{stat\text{-}i}$ коэффициент надежности, учитывающий погрешности, связанные со статическими нагрузками;
W_{stat} одновременно действующие статические нагрузки (или воздействие нагрузки с точки зрения напряжений);
$\gamma_{dyn\text{-}i}$ коэффициент надежности, учитывающий погрешности, связанные с динамическими нагрузками;
W_{dyn} одновременно действующие динамические нагрузки. Динамические нагрузки обычно являются комбинацией местных и общих составляющих нагрузки;
R характерная несущая способность конструкции (например, предел текучести, предельное напряжение при расчете эквивалентного бруса);
γ_R коэффициент надежности, учитывающий погрешности, связанные с несущей способностью конструкции.

4.5.1.5 Критерии приемки как для метода WSD, так и для метода PF, систематизируются для различных требований так, чтобы для всех случаев воздействия комбинации статической и динамической нагрузки достигался приемлемый уровень безопасности.

4.6 Принцип эквивалентных замен

4.6.1 Общие положения

4.6.1.1 Оригинальные проекты, отклоняющиеся от основы проектирования или конструктивных решений, к которым применимы Правила, подлежат специальному рассмотрению. К оригинальному проекту должен применяться принцип эквивалентных замен, чтобы продемонстрировать, что конструктивная безопасность оригинального проекта, по крайней мере, эквивалентна безопасности, предусмотренной Правилами.

4.6.1.2 Принцип эквивалентных замен может применяться к альтернативным методам расчета.

4.6.1.3 При разработке настоящих Правил использовался процесс систематического анализа. Выявлялись и оценивались вероятные последствия опасностей от эксплуатационных и внешних воздействий на конструкцию нефтеналивного судна и конструктивные решения, к которым применимы настоящие Правила. Для оригинальных проектов, в зависимости от характера отклонений от основы проектирования, может оказаться необходимым провести системный анализ, чтобы документировать соответствие Правилам.

5 Применение принципов

5.1 Общее представление о применении принципов

5.1.1 Общие положения

5.1.1.1 Настоящий подраздел представляет применение принципов проектирования, представленных в *подразделе 4*, при разработке требований Правил.

5.2 Процесс расчета прочности

5.2.1 Общее представление о процессе расчета прочности

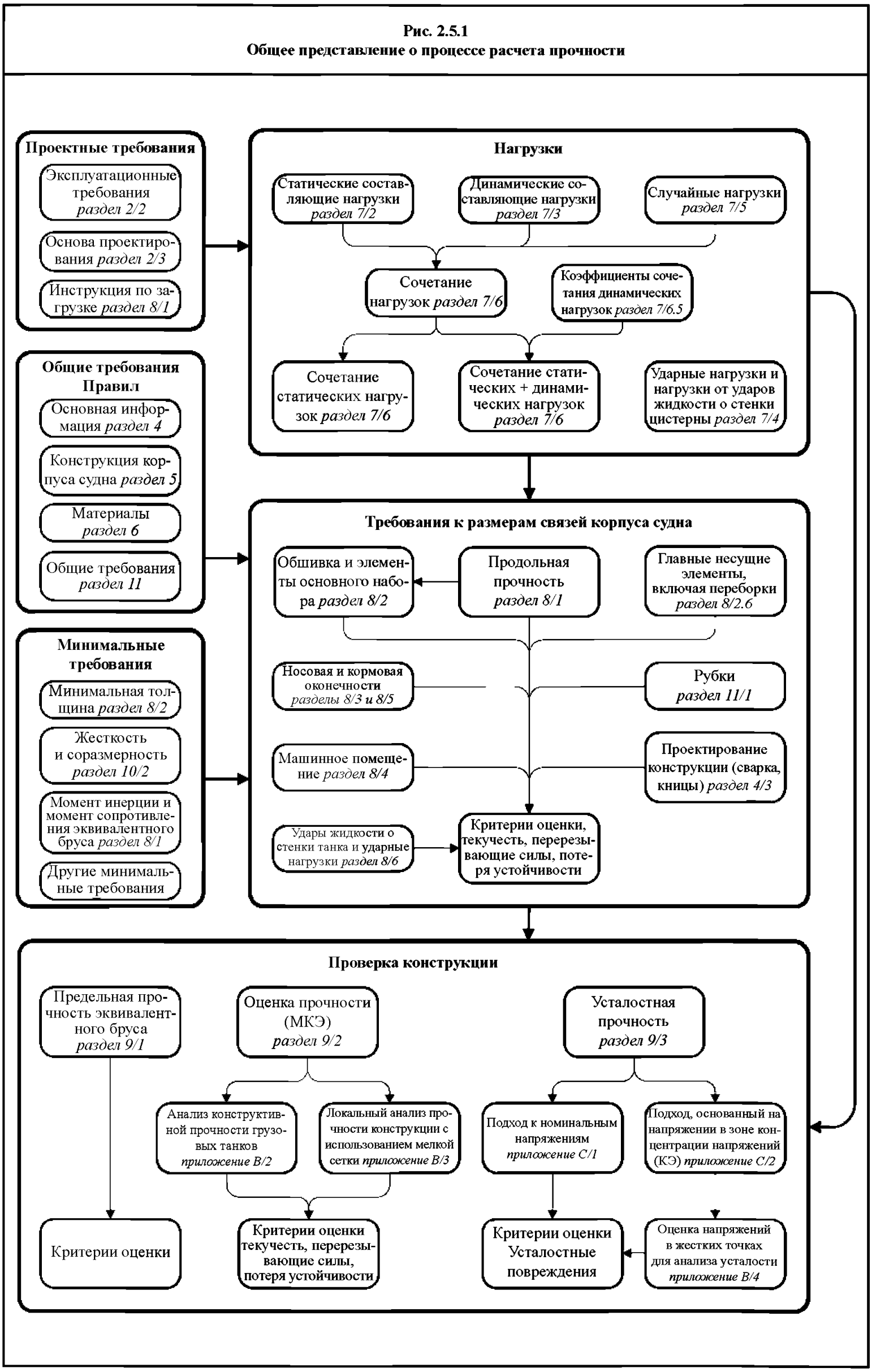
5.2.1.1 Общее представление о процессе проектирования конструкции, примененного в Правилах, показано на *рис. 2.5.1*.

5.2.1.2 Прочность и приемлемая безопасность корпуса и конструктивных элементов проверяются с помощью следующих требований Правил:

а) нормативных требований к размерам связей корпуса судна:
- минимальные требования;
- требования к несущей способности;

б) требования к проверке конструкции, основанные на методах, базирующихся на несущей способности:
- предельная прочность эквивалентного бруса;
- оценка конструктивной прочности с использованием анализа методом конечных элементов;
- оценка усталости.

Рис. 2.5.1
Общее представление о процессе расчета прочности



5.3 Минимальные требования

5.3.1 Общие положения

5.3.1.1 Минимальные требования обычно представляются одним из следующих способов:

а) минимальная толщина, которая не зависит от предела текучести; такое требование основано на опыте эксплуатации и обычно выражается следующим образом:

$t = A + BL$,

где A, B постоянные;
L длина согласно Правилам, как определено в *разделе 4/1.1.1.1*;

б) минимальная жесткость и соотношение, которые основаны на нормативных требованиях к устойчивости.

5.4 Требования к несущей способности

5.4.1 Общие положения

5.4.1.1 В целом, в требованиях используется метод расчета по допускаемым напряжениям, исключая критерии предела прочности эквивалентного бруса, где применяется метод расчета по коэффициентам надежности. Расчет по коэффициентам надежности применяется для этого очень критичного характера отказа для лучшего учета погрешностей, связанных с формированием статических нагрузок, динамических нагрузок и прочностных характеристик.

5.4.1.2 Выявленные варианты нагрузки рассматриваются в Правилах с точки зрения расчетных нагрузок, расчетного вида и заданных критериев приемлемости, как представлено в *табл. 2.5.3*. Таблица носит схематический характер и должна давать только общее представление.

5.4.1.3 Варианты нагрузки, рассматриваемые в Правилах, касаются таких операций как морской переход, погрузка и разгрузка, испытания танков, замена балласта, специальные операции в порту (например, осмотр гребного винта на плаву) и аварийное затопление.

5.4.1.4 Комбинации расчетных нагрузок, которые представляют выявленные варианты нагрузки, приведены в *разделе 7/6* и обозначены буквами S (статические нагрузки), S + D (статические + динамические нагрузки) и A (случайные нагрузки). Кроме того, Правила рассматривают ударные нагрузки и нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, как представлено в *разделе 7/4*, и усталостные нагрузки, как представлено в *разделе 7/3*.

5.4.1.5 Для требований к конструктивной прочности рассмотренные нагрузки касаются наиболее жестких возможных эксплуатационных нагрузок. Поэтому анализ грузового танка методом конечных элементов и требования к размерам связей корпуса судна, базирующиеся на их несущей способности, основаны на вариантах нагрузки согласно Правилам, которые имитируют возможные наихудшие варианты нагрузки в эксплуатационных режимах судна.

5.4.1.6 Для требований к усталости рассмотренные нагрузки касаются ожидаемой истории нагружения, и используются типичные варианты нагрузки, охватывающие предполагаемую эксплуатацию судна.

5.4.1.7 Критерии приемлемости разбиваются по категориям на три совокупности критериев приемлемости. Они разъясняются ниже и представлены в *табл. 2.5.2* и *2.5.3*. Конкретная совокупность критериев приемлемости, которая используется в требованиях Правил для расчета по допускаемым напряжениям, зависит от вероятностного уровня характерной совместной нагрузки.

5.4.1.8 Совокупность критериев приемлемости АС1 используется, когда совместные характерные нагрузки возникают часто, обычно для комбинаций статических расчетных нагрузок, но также используется для расчетных нагрузок от ударов жидкости о стенки танка. Это означает, что нагрузки возникают часто или регулярно. Допускаемое напряжение для частой нагрузки ниже, чем для предельно допустимой нагрузки, чтобы учесть влияние:

а) повторной текучести (малоцикловая усталость);
б) допуска на некоторую динамику;
в) запасов на эксплуатационные ошибки.

5.4.1.9 Совокупность критериев приемлемости АС2 обычно используется, когда совместные характерные нагрузки достигают критических величин, например, обычно для комбинаций статических + динамических расчетных нагрузок. Повышенный коэффициент использования (η_i в *табл. 2.5.1*) несущей способности конструкции (R_i в *табл. 2.5.1*) допускается в таких случаях, так как рассматриваемые нагрузки являются предельными с малой вероятностью возникновения.

5.4.1.10 Совокупность критериев приемлемости АС3 обычно используется для представления несущей способности конструкции на основе моделей пластического разрушения, подобных применяемым в отношении днищевого слеминга и ударных нагрузок в носовой части судна.

Таблица 2.5.1

Варианты нагрузки и соответствующие требования Правил

Варианты нагрузки		**Требования Правил**			
Операция	**Нагрузки** (действующие на судно, и которым оно должно противостоять)	**Комбинация расчетных нагрузок** (см. *раздел 7/6*)		**Вид нагрузки** (см. *разделы 8* и *9*) см. примечание 1	**Совокупность критериев приемлимости** (см. *разделы 8* и *9*)
		Справочный №	**Обозначение**		
Операции в море					
Переход	Статические и динамические нагрузки в условиях шторма	1	S + D	1. $S_G+S_L+D_G+D_L \le \eta_2 R_1$	AC2
				2. $\gamma_S S_G+\gamma_D D_G \le R_2/\gamma_{R2}$	AC2
	Ударные нагрузки в условиях шторма	2	Удар	$S_L+D_{imp} \le \eta_3 R_p$	AC3
	Внутренние нагрузки от ударов жидкости о стенки танка	3	Удары жидкости о стенки танка	$S_G+D_{slh} \le \eta_1 R_1$	AC1
	Циклические волновые нагрузки	4	Усталость	$DM \le \sum \eta_i/N_i$	–
Замена балласта методом прокачки или методом последовательной замены	Статические и динамические нагрузки в условиях шторма	5	S + D	$S_G+S_L+D_G+D_L \le \eta_2 R_1$	AC2
Операции в порту и месте убежища					
Погрузка, разгрузка и балластировка	Типичные максимальные нагрузки при операциях погрузки, разгрузки и балластировки	6	S	$S_G+S_L \le \eta_1 R_1$	AC1

Испытания танков	Типичные максимальные нагрузки при испытании танков	7	S	$S_G+S_{L1} \le \eta_1 R_1$	AC1
Особые операции в порту	Типичные максимальные нагрузки при особых операциях в порту, например, осмотр на плаву гребного винта или докование	8	S	$S_G+S_L \le \eta_1 R_1$	AC1
Аварийное состояние					
Аварийное затопление	Типичные максимальные нагрузки на внутренние водонепроницаемые отсеки вследствие аварийного затопления	9	A	Для границ водонепроницаемости 1. $S_L \le \eta_2 R_1$	AC2
				Для таранной переборки 2. $S_L \le \eta_1 R_1$	AC1

Примечание
1. Определение условных обозначений в этом столбце – см. в *5.4.*

где *DG* общая динамическая нагрузка;
DL местная динамическая нагрузка;
DM коэффициент накопленных усталостных повреждений;
SG общая статическая нагрузка;
SL местная статическая нагрузка;
R_i несущая способность.

5.4.2 Расчетные нагрузки для требований к размерам связей корпуса судна и для оценки конструктивной прочности (метод конечных элементов)

5.4.2.1 Оценка несущей способности границ отсека, например, переборок, основана на наихудшем возможном случае нагрузки – поэтому условия оцениваются при заполненном танке с одной стороны и порожнем с другой. Рассматривается также ситуация с обратным случаем заполнения танков. Аналогично обшивка корпуса судна оценивается в условиях наибольшей осадки в состоянии порожнем и наименьшей осадки при заполненных танках.

5.4.2.2 Стандартные варианты нагрузки, применяемые при оценке конструктивной прочности (методом конечных элементов), приведены в *приложении В*, *табл. В.2.3* и *В.2.4* для нефтеналивных судов с двумя продольными нефтенепроницаемыми переборками и одной продольной нефтенепроницаемой переборкой в диаметральной плоскости судна соответственно. Соответствующая информация для требований к размерам связей корпуса судна приведена в *разделе 8*.

5.4.2.3 Для обеспечения последовательного подхода для расчета значений нагрузки применяются стандартизированные значения согласно Правилам для параметров, таких как *GM*, R_{roll}, T_{sc} и C_b.

5.4.2.4 Уровень вероятности общих и местных динамических нагрузок (D_G, D_L, и D_{imp} в *табл. 2.5.1*) составляет 10^{-8} и находится с использованием долговременного статистического подхода, представленного в *4.2.6.2*.

5.4.2.5 Уровень вероятности нагрузок от ударов жидкости о стенки танка (D_{slh} в *табл. 2.5.1*) составляет 10^{-4}, и такие нагрузки возникают часто.

5.4.2.6 Комбинации расчетных нагрузок, соответствующие выявленным вариантам нагрузки, образуют реальные совокупности расчетных нагрузок, пригодные для проектирования и проверки несущей способности конструкции. Совокупности расчетных нагрузок используют все применимые

одновременно действующие статические и динамические составляющие местной нагрузки (S_L и D_L в *табл. 2.5.1*, которые обычно являются составляющими усилий сжатия) и статические и динамические составляющие общей нагрузки (S_G и D_G в *табл. 2.5.1*, которые являются изгибающим моментом эквивалентного бруса) для проектирования конкретного конструктивного элемента или группы таких элементов. Соответствующие совокупности расчетных нагрузок для требований к размерам связей корпуса судна приведены в *разделах 8/2 – 8/5*. Совокупности расчетных нагрузок для анализа методом конечных элементов рассматриваются как варианты нагрузки и приведены в *приложении B*.

5.4.2.7 Одновременно возникающие динамические нагрузки задаются путем применения коэффициента комбинации динамических нагрузок к наибольшим значениям динамической нагрузки, приведенным в *разделе 7/3*. Коэффициенты комбинации динамических нагрузок, которые определяют варианты динамической нагрузки, приведены в *разделе 7/6.4* для оценки конструктивной прочности (методом конечных элементов) и в *разделе 7/6.5* для требований к размерам связей корпуса судна.

5.4.2.8 Коэффициенты комбинации динамических нагрузок определяются путем использования подхода на основе эквивалентной расчетной волны для обеспечения реальных одновременно возникающих составляющих динамической нагрузки, пригодных для оценки несущей способности конструкции.

5.4.2.9 Для определения расчетных нагрузок для требования в части предельной прочности эквивалентного бруса (см. *раздел 9/1*) эксплуатационные нагрузки (т.е. варианты нагрузки судна) и внешние нагрузки (т.е. волновые изгибающие моменты для эквивалентного бруса) принимаются максимальными для прогиба при переходе морем. Характерное значение для изгибающих моментов при прогибе на тихой воде для эквивалентного бруса M_{sw} основано на максимальном значении при переходе морем согласно *разделу 8/1*. Характерное значение для волновых изгибающих моментов при прогибе для эквивалентного бруса M_{wv} приведено в *разделе 7/3*.

5.4.3 Расчетные нагрузки для требований к усталости

5.4.3.1 Для требований к усталости, приведенных в *разделе 9/3* и *приложении C*, оценка нагрузки основана на ожидаемой истории нагрузки и использовании метода усреднения. Ожидаемая история нагрузки для расчетного срока службы характеризуется уровнем вероятности 10^{-4} для значения динамической нагрузки; история нагрузки для каждого конструктивного элемента представлена распределением вероятности Вейбулла соответствующих напряжений.

5.4.3.2 Рассмотренные нагрузки, вызванные волнением, включают:

а) нагрузки эквивалентного бруса (т.е. вертикальные и горизонтальные изгибающие моменты);
б) динамическое волновое давление;
в) динамическое давление в танке.

5.4.3.3 Анализ усталости проводится для двух типичных вариантов нагрузки, охватывающих предполагаемую эксплуатацию судна. Эти случаи включают:

а) полную загрузку однородным грузом при расчетной осадке;
б) нормальное состояние в балласте.

Время нахождения судна в море в полном грузу в течение срока службы принято 50 %, в балласте также 50 %. Предполагается, что 15 % времени в течение срока службы судно находится в порту/в месте убежища.

5.4.3.4 Значения нагрузки основаны на фактических параметрах, соответствующих использованным вариантам нагрузки, например, GM, C_b и т.д., и используются соответствующие осадки на миделе. Фактические значения принимаются согласно вариантам нагрузки, приведенным в Инструкции по загрузке.

5.4.3.5 Одновременно возникающие динамические нагрузки учитываются комбинацией напряжений вследствие различных составляющих динамической нагрузки. Методика для комбинации напряжений представлена в *приложении С*.

5.4.3.6 Нагрузки на тихой воде и статическое давление со стороны моря и в танках согласно фактическим вариантам нагрузки используются для определения осредненного воздействия напряжений.

5.4.4 Анализ поведения конструкции

5.4.4.1 В целом, для определения реакции конструкции на приложенные комбинации расчетных нагрузок применяются следующие подходы:

а) теория изгиба балок
– используется для нормативных требований;
б) анализ методом конечных элементов
– крупная сетка для модели грузового трюма;
– густая сетка для местных моделей;
– очень густая сетка для оценки усталости.

5.4.5 Оценка несущей способности конструкции

5.4.5.1 В Правилах рассмотрены следующие виды отказов – текучесть (пластическая деформация), потеря устойчивости, хрупкое разрушение и усталость. Конструктивный отказ вследствие текучести и потери устойчивости, в основном, контролируется требованиями к прочности, хрупкое разрушение – требованиями к выбору материала и сварке, усталостное разрушение – требованиями к многоцикловой усталостной прочности.

5.4.5.2 Как правило, модели несущей способности, применяемые в Правилах, т.е. требования к размерам связей корпуса судна, приведенные в *разделе 8*, основаны на традиционной балочной теории и включают моделирование упругой деформации и способности к пластической деформации. Потеря устойчивости оценивается с использованием упрощенного моделирования потери устойчивости или методики теоретического нелинейного анализа.

5.4.5.3 Требования к проверке конструкции основаны на линейном упругом анализе методом конечных элементов, подробной нормативной процедуре оценки усталости и упрощенной процедуре оценки предельной прочности. Для некоторых конструктивных элементов, таких как излом наклонной обшивки бортовой скуловой цистерны, существует также процедура оценки усталости, основанная на методе конечных элементов.

5.4.5.4 Применение подхода на основе толщины нетто для оценки несущей способности конструкции приведено в *разделе 6/3.3*.

5.4.6 Критерии приемлемости

5.4.6.1 Критерии приемлемости, применяемые в проектных требованиях к допускаемым напряжениям, представлены в *табл. 2.5.2* и *2.5.3* в виде совокупностей критериев приемлемости. Имеются незначительные различия в пределах каждой совокупности в зависимости от относительного присутствия местной и общей нагрузки, статической и динамической нагрузок и рассматриваемой конструктивной связи. Конкретные критерии приемлемости приведены в подробных требованиях Правил в *разделах 8* и *9/2*.

5.4.6.2 Цель использования различных совокупностей – достичь соответствующего и приемлемого уровня безопасности для всех комбинаций статических и динамических нагрузок и представить различные модели несущей способности конструкции.

Таблица 2.5.2

Основные критерии приемлемости – требования Правил

	Листовые панели и элементы основного набора		**Главные несущие элементы**		**Конструктивные элементы корпуса**	
Совокупность критериев приемлемости	**Текучесть**	**Потеря устойчивости**	**Текучесть**	**Потеря устойчивости**	**Текучесть**	**Потеря устойчивости**
AC1	70-80 % предела текучести	Контроль жесткости и размеров. Типичный коэффициент использования 0,8	70-75 % предела текучести	Контроль жесткости и размеров. Потеря устойчивости пиллерса	75 % предела текучести	Не применимо
AC2	90-100 % предела текучести	Контроль жесткости и размеров. Типичный коэффициент использования 1,0	85 % предела текучести	Контроль жесткости и размеров. Потеря устойчивости пиллерса	90-100 % предела текучести	Типичный коэффициент использования 0,9
AC3	Критерий пластичности	Контроль жесткости и размеров	Критерий пластичности	Контроль жесткости и размеров	Не применимо	Не применимо

Таблица 2.5.3

Основные критерии приемлемости – проверка конструкции – анализ методом конечных элементов

	Общий анализ грузовых танков		**Анализ с использованием густой сетки для местных моделей**
Совокупность критериев приемлемости	**Текучесть**	**Потеря устойчивости**	**Текучесть**
AC1	60-80 % предела текучести	Контроль жесткости и соотношений. Типичный коэффициент использования 0,8	местная сетка, соответствующая 136% предела текучести; осредненные напряжения, соответствующие общему анализу
AC2	80-100 % предела текучести	Контроль жесткости и соотношений. Типичный коэффициент использования 1,0	местная сетка, соответствующая 170% предела текучести; осредненные напряжения, соответствующие общему анализу

5.5 Материалы

5.5.1 Общие положения

5.5.1.1 Для снижения риска распространения хрупкого разрушения для особо критических конструктивных элементов, которые подвержены высоким нагрузкам и низким эксплуатационным температурам, выбираются материалы, обладающие повышенными свойствами.

5.6 Применение требований Правил

5.6.1 Минимальные требования

5.6.1.1 Эти требования являются минимальными требованиями к размерам связей корпуса судна, которые должны применяться независимо от других требований. Поэтому не допускается толщина ниже минимальной.

5.6.2 Нормативные требования к несущей способности

5.6.2.1 Эти требования определяют размеры связей корпуса судна для всей обшивки, местных подкреплений, большинства главных несущих элементов и эквивалентного бруса и применимы ко всем конструктивным элементам, включая рубки, фундаменты палубных механизмов и пр.

5.6.2.2 В целом, эти требования четко контролируют один конкретный характер отказа и, следовательно, можно применить несколько требований для оценки одного конкретного конструктивного элемента.

5.6.3 Проверка конструкции – предельная прочность эквивалентного бруса

5.6.3.1 Требования к предельной прочности эквивалентного бруса основаны на методе расчета по коэффициентам надежности – см. *4.5*. Каждой из основных переменных – изгибающему моменту на тихой воде, волновому изгибающему моменту и предельной прочности – назначается коэффициент запаса прочности. Коэффициенты запаса прочности определялись с использованием подхода на основе оценки конструктивной надежности; долгосрочное распределение волнового изгибающего момента на основе истории нагрузки было получено с использованием методов анализа движения судна, пригодных для определения предельных волновых изгибающих моментов.

5.6.3.2 Цель проверки предельной прочности эквивалентного бруса – показать, что один из наиболее критических характеров отказа нефтеналивного судна с двойными бортами находится под контролем.

5.6.4 Проверка конструкции – общий анализ с помощью метода конечных элементов

5.6.4.1 Общий анализ с помощью метода конечных элементов используется для проверки размеров поперечных сечений связей корпуса судна, полученных исходя из нормативных требований к несущей способности. Такой анализ необходим, так как нормативные требования не учитывают с достаточной точностью сложные взаимодействия между конструктивными элементами судна, сложной местной геометрией конструкции, изменение толщин и характеристик сечений конструктивных связей, а также сложного варианта нагрузки. Поэтому общий анализ с помощью метода конечных элементов необходим для проверки предлагаемых размеров связей корпуса судна.

5.6.4.2 Линейный упругий трехмерный анализ района грузовых танков с помощью метода конечных элементов (необходима конечноэлементная модель на длине трех танков) проводится для оценки и проверки реакции конструкции предлагаемого эквивалентного бруса и главных несущих элементов, а также для уточнения требований к размерам связей корпуса судна главных несущих элементов. Цель анализа с помощью метода конечных элементов – проверить, что напряжения и устойчивость главных несущих элементов находятся в допустимых пределах при приложенных расчетных нагрузках.

5.6.5 Проверка конструкции – оценка усталости

5.6.5.1 Оценка усталости требуется для проверки, что усталостная долговечность критических конструктивных элементов достаточна. Нормативное требование к усталости применяется к таким элементам, как концевые соединения продольных ребер жесткости, используя подход на основе кривых SN, основанный на геометрических элементах, т.е. класс F, F2 и т.д. Процедура оценки усталости в зоне концентрации напряжений с использованием анализа с помощью метода конечных элементов применяется к таким элементам, как излом наклонной обшивки бортовой скуловой цистерны. В обоих случаях метод оценки усталости основан на линейной модели повреждения Палгрен-Майнера.

5.6.6 Взаимосвязь между нормативными требованиями к размерам связей корпуса и оценкой конструктивной прочности (метод конечных элементов)

5.6.6.1 Нормативные минимальные требования определяют минимальные приемлемые размеры связей корпуса судна. Они не могут быть уменьшены ни при каких альтернативных расчетах, таких как нормативные требования на основе несущей способности конструкции или анализ конструктивной прочности подобный методу конечных элементов.

5.6.6.2 Момент сопротивления сечения и/или площадь поперечного сечения стенки главного несущего элемента, и/или расчетная нагрузка на распорку главного несущего элемента могут быть уменьшены до 85 % от нормативных требований при условии, что уменьшенные размеры соответствуют оценке конструктивной прочности (методом конечных элементов).

5.6.6.3 Смысл заключается в том, что общий подход должен быть более консервативным, чем детальный подход. Поэтому нормативные требования обычно более консервативны, чем соответствующие требования, основанные на оценке конструктивной прочности (методом конечных элементов).

РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ

1 Символ класса

1.1 Символ класса

1.1.1 Общие положения

1.1.1.1 Судам, полностью отвечающим требованиям настоящих Правил и конкретным требованиям присваивающего класс классификационного общества в отношении конструкции, освидетельствований и оборудования, могут быть присвоены дополнительные знаки и словесные характеристики соответствующего классификационного общества.

1.1.1.2 В дополнение к *1.1.1.1* судам, полностью соответствующим требованиям настоящих Правил, будет также присвоен символ **[CSR]**.

2 Требования к документации, чертежам и данным

2.1 Требования к документации и данным

2.1.1 Информация по загрузке

2.1.1.1 На борту судна должно находиться руководстве по загрузке, содержащее достаточно информации, чтобы капитан мог поддерживать судно в пределах установленных эксплуатационных ограничений. Это руководство должно включать одобренную Инструкцию по загрузке и компьютерную систему загрузки, соответствующую требованиям, приведенным в *разделах 8/1.1.2* и *8/1.1.3* соответственно.

2.1.2 Представление расчетных данных и результатов

2.1.2.1 Если расчеты выполнены в соответствии с процедурами, приведенными в приложениях к настоящим Правилам, в одном экземпляре должна быть представлена следующая вспомогательная информация:

а) ссылка на использованные методику расчетов и техническую программу;
б) описание структурного моделирования;
в) обобщение параметров анализа, включая характеристики и граничные условия;
г) подробное описание вариантов нагрузки и способы ее приложения;
д) исчерпывающий отчет по результатам расчетов;
е) пример расчетов, если применимо.

2.1.2.2 Как правило, представление больших объемов входных и выходных данных, связанных с программами, такими как анализ методом конечных элементов, не требуется.

2.1.2.3 Ответственность за отсутствие ошибок в спецификации и ввод данных программы, а также за последующее преобразование выходных данных лежит на проектанте.

2.1.3 Использование компьютерного программного обеспечения для расчетов применительно к Правилам

2.1.3.1 Как правило, для определения размеров связей корпуса судна согласно настоящим Правилам может применяться любая компьютерная программа для расчетов, признанная классификационным обществом, при условии соответствия требованиям *5.1*.

2.1.3.2 Компьютерная программа, которая продемонстрировала надежные результаты к удовлетворению классификационного общества, рассматривается как признанная. Если использованные компьютерные программы не представлялись или не признаны классификационным обществом, должны быть представлены полные сведения о компьютерной программе, включая пример выходных данных расчетов. Рекомендуется, чтобы проектанты консультировались с классификационным обществом о пригодности компьютерных программ, предназначенных для использования, до начала любого анализа.

2.2 Представление чертежей и вспомогательных расчетов

2.2.1 Общие положения

2.2.1.1 В целом, основные категории и перечни требуемой информации приведены в *2.2.2*. Дополнительные требования по некоторым пунктам приведены также в последующих разделах.

2.2.1.2 Чертежи должны обычно представляться в трех экземплярах, но только один экземпляр необходим для вспомогательных документов и расчетов. Дополнительные экземпляры могут потребоваться согласно требованиям конкретного классификационного общества.

2.2.1.3 Чертежи должны содержать всю необходимую информацию для полного определения конструкции, включая конструктивные детали, материалы, сварку и нагрузки на конструкцию, прилагаемые со стороны оборудования и систем соответственно.

2.2.1.4 Чертежи должны включать информацию, касающуюся обновленной толщины, как указано в *разделе 12*.

2.2.2 Чертежи и вспомогательные расчеты

2.2.2.1 Как правило, должны быть представлены следующие чертежи:

а) основные конструктивные чертежи:
- мидельшпангоут, показывающий продольные и поперечные конструктивные элементы;
- конструктивные продольные разрезы/чертежи, показывающие все основные продольные конструктивные элементы на длине судна, включая палубы, второе дно, переборки, стрингеры двойного борта и балки двойного дна;
- растяжка наружной обшивки;
- главные нефтенепроницаемые и водонепроницаемые поперечные переборки, включая главные несущие элементы;

б) информация к руководству по загрузке:
- предварительная Инструкция по загрузке;
- окончательная Инструкция по загрузке;
- подробные сведения об основе проектирования – см. *раздел 8/1.1.2*;
- условия испытаний для прибора контроля загрузки;

в) подробные конструктивные чертежи:
- чертежи конструкции грузовых танков, показывающие варианты конструкций и размеров флоров двойного дна, рамных шпангоутов двойного борта и других поперечных главных несущих элементов;
- носовая оконечность;
- кормовая оконечность;
- конструкция в районе машинного отделения, включая фундаменты под двигатель и упорный подшипник;
- рубки и надстройки;

г) подробные проектные чертежи, исключая случаи, когда информация уже вошла в чертежи, перечисленные в (а) и (в):
- ахтерштевень;
- чертежи отверстий в корпусе судна;
- сварка;

– скуловые кили;
– альбом типовых конструкций;
– якорное и швартовное устройства;
– пиллерсы и опорные конструкции палуб;
– устройства для доступа в пространствах двойного дна и двойного борта в районе грузовых танков;
– устройство отверстий и креплений к корпусным конструкциям средств доступа для осмотра;
д) подробные чертежи опорных конструкций, исключая случаи, когда информация уже вошла в чертежи, перечисленные в (а) – (г):
– под брашпиль и стопор якорной цепи;
– под швартовные лебедки;
– под мачты, грузовые колонны или краны;
– под оборудование для аварийной буксировки;
– под другое палубное оборудование или устройства.

2.2.2.2 Должны быть представлены следующие вспомогательные документы:

а) чертеж общего расположения;
б) чертеж вместимости грузовых трюмов и танков;
в) теоретический чертеж или эквивалентная замена;
г) доковый чертеж, если разрабатывался;
д) чертеж надводного борта или эквивалентная замена, показывающая надводный борт и сведения, относящиеся к условиям его назначения;
е) перечень применимых конвенционных правил – см. *раздел 2/4* и *раздел 3/3.3*.

2.2.2.3 Должны быть представлены следующие вспомогательные расчеты:

а) расчет характеристики снабжения.

2.2.2.4 Чертежи элементов, не охваченных настоящими Правилами, должны быть представлены согласно требованиям конкретного классификационного общества.

2.2.3 Чертежи, которые должны быть на борту судна

2.2.3.1 Один экземпляр следующих чертежей, указывающих построечные толщины и возобновляемые толщины по каждому элементу конструкции:
а) чертежи, связанные с основными размерами связей корпуса судна – см. *2.2.2.1(а)*;
б) один экземпляр одобренной окончательной Инструкции по загрузке – см. *2.1.1*;
в) один экземпляр окончательных условий испытаний прибора контроля загрузки – см. *раздел 8/1.1.3*;
г) подробные конструктивные чертежи – см. *2.2.2.1(в)*;
д) сварка;
е) сведения об объеме и местах применения стали повышенной прочности, а также спецификация, механические свойства и любые рекомендации по сварке и работе с этой сталью;
ж) подробная информация по применению специальных материалов, таких как алюминиевые сплавы, используемые в конструкции корпуса.

3 Объем одобрения

3.1 Общие положения

3.1.1 Применение Правил

3.1.1.1 Дополнительно к положениям *раздела 1/1.1.2* и *раздела 1/1.2.1* Правила включают требования к размерам связей корпуса судна для классификации новых нефтеналивных судов с двойными бортами длиной 150 м и более.

3.1.1.2 Судовладельцам, проектантам и строителям следует обратить внимание на правила международных, национальных, канальных и других властей, имеющих дело с такими требованиями, которые могут повлиять на конструктивные аспекты, в дополнение или сверх классификационных требований.

3.1.1.3 Другие аспекты конструктивного проектирования, на которые распространяются настоящие Правила, следует рассматривать, применяя правила конкретного классификационного общества.

3.2 Классификация

3.2.1 Общие положения

3.2.1.1 Должны быть представлены документация, чертежи и данные согласно *подразделу 2*. Каждое конкретное классификационное общество должно рассматривать такую документацию с целью проверки соответствия требованиям.

3.2.1.2 Для указания того, что чертежи, отчеты или документы проверены на соответствие настоящим Правилам, будет использоваться соответствующий термин согласно процедурам конкретного классификационного общества.

3.3 Требования национальных и международных правил

3.3.1 Ответственность

3.3.1.1 Обеспечение соответствия проекта действующим национальным и международным правилам, применимым к судну, является ответственностью проектанта.

3.3.1.2 Классификационные общества не отвечают за оценку соответствия национальным и международным правилам как часть общего процесса классификации. Однако классификационное общество может войти в соглашение, по которому оно получает четкие инструкции по рассмотрению и одобрению проекта судна на соответствие указанным правилам. Такое одобрение может быть принято как доказательство соответствия от имени Администрации флага при условии, что назначенное классификационное общество надлежащим образом признано этой Администрацией флага в соответствии с Правилами XI/1 СОЛАС.

3.3.2 Процедура проверки

3.3.2.1 При проверке соответствия Администрацией флага последняя выдает судну свидетельства, подтверждающие соответствие национальным и международным правилам. Судам, имеющим устройства и оборудование, которые должны соответствовать нижеследующим требованиям и применимым поправкам к ним, свидетельства о соответствии применимым конвенциям, если они не выдаются Администрацией флага, должны выдаваться классификационным обществом или уполномоченным членом МАКО:

а) Международная конвенция о грузовой марке 1966 года;
б) Международная конвенция о безопасности человеческой жизни на море 1974 года и Протокол 1978 года к ней;
в) Международная конвенция о предотвращении загрязнения с судов 1973 года, измененная Протоколом 1978 года.

Для судов с совместным классом конвенционные свидетельства могут выдаваться любым классификационным обществом, присвоившим судну класс, при условии, что это признано по официальному соглашению о совместном классе с классификационными обществами, присваивавшими класс судну, и что оба общества уполномочены Администрацией флага.

4 Процедура эквивалентных замен

4.1 Общие положения

4.1.1 Применение Правил

4.1.1.1 Настоящие Правила применяются к нефтеналивным судам с двойными бортами с обычными обводами, соотношениями главных размерений, скоростью и конструкцией. Соответствующие проектные характеристики, определяющие принятые допущения, приведены в *разделе 2/3*.

4.1.1.2 Правила применимы к стальным судам сварной конструкции. Другие материалы для использования в конструкции корпуса подлежат специальному рассмотрению.

4.1.1.3 Особому рассмотрению подлежит применение Правил при наличии проектных характеристик за пределами основы проектирования в *разделе 2/3*, например:

а) повышенная усталостная долговечность;
б) повышенные запасы на коррозию;
в) повышенная плотность груза.

4.1.2 Оригинальные проекты

4.1.2.1 Суда оригинального проекта, т.е. необычных обводов, соотношений главных размерений, скорости и конструкции, которые не соответствуют требованиям *раздела 2/3.1.2* настоящих Правил, подлежат специальному рассмотрению согласно настоящему подразделу.

4.1.2.2 Для того, чтобы показать, что конструктивная безопасность оригинального проекта по крайней мере равноценна предусмотренной Правилами, классификационному обществу должна быть представлена соответствующая информация.

4.1.2.3 В таких случаях на ранней стадии процесса проектирования следует обратиться к классификационному обществу с целью установления применимости Правил и дополнительной информации, подлежащей представлению.

4.1.2.4 В зависимости от характера отклонений от Правил, может потребоваться систематическая проверка, чтобы документировать равноценность Правилам.

4.1.3 Альтернативные методы расчета

4.1.3.1 Если указано в конкретных разделах Правил, могут быть допущены альтернативные методы расчета, по сравнению с приведенными в Правилах, при условии, что размеры и конструкция по крайней мере равноценны по прочности получаемым при использовании метода расчета, приведенного в Правилах.

5 Расчет и оценка требований к размерам связей корпуса судна

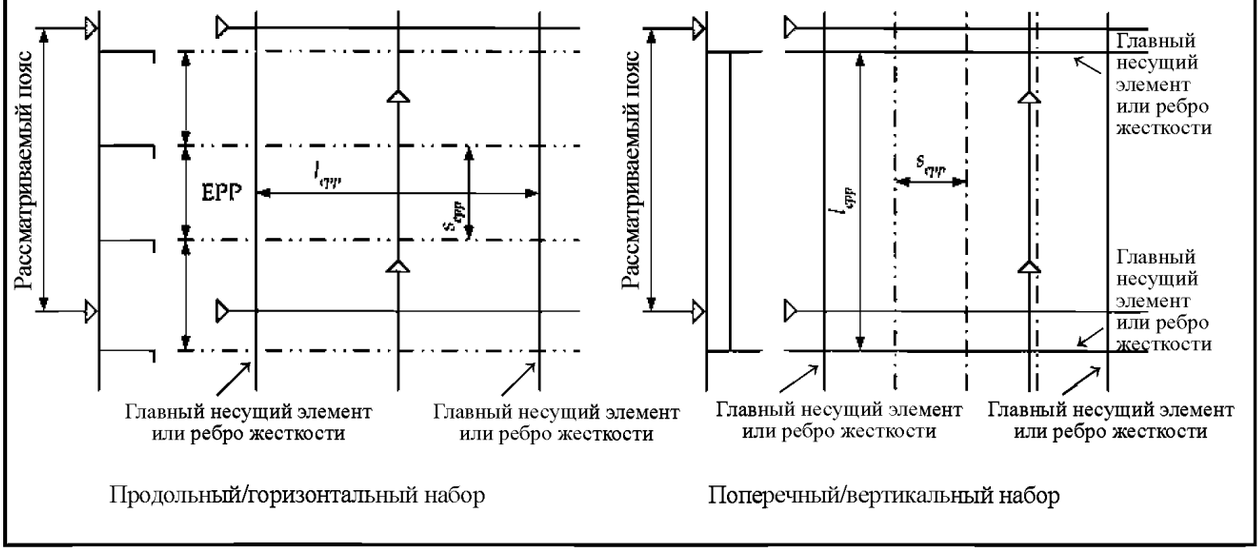
5.1 Определение требований к размерам связей для листов

5.1.1 Определение размеров связей пояса обшивки – идеализация листовых панелей

5.1.1.1 Размеры связей поясов обшивки должны определяться на основе идеализации построенной конструкции в виде серии элементарных листовых панелей (EPP).

5.1.1.2 EPP – неподкрепленная часть обшивки между ребрами жесткости. Длина листовой панели l_{epp} и ширина s_{epp} определяются относительно самой длинной и самой короткой кромок соответственно, как показано на *рис. 3.5.1*.

Рис. 3.5.1
Определение элементарной листовой панели

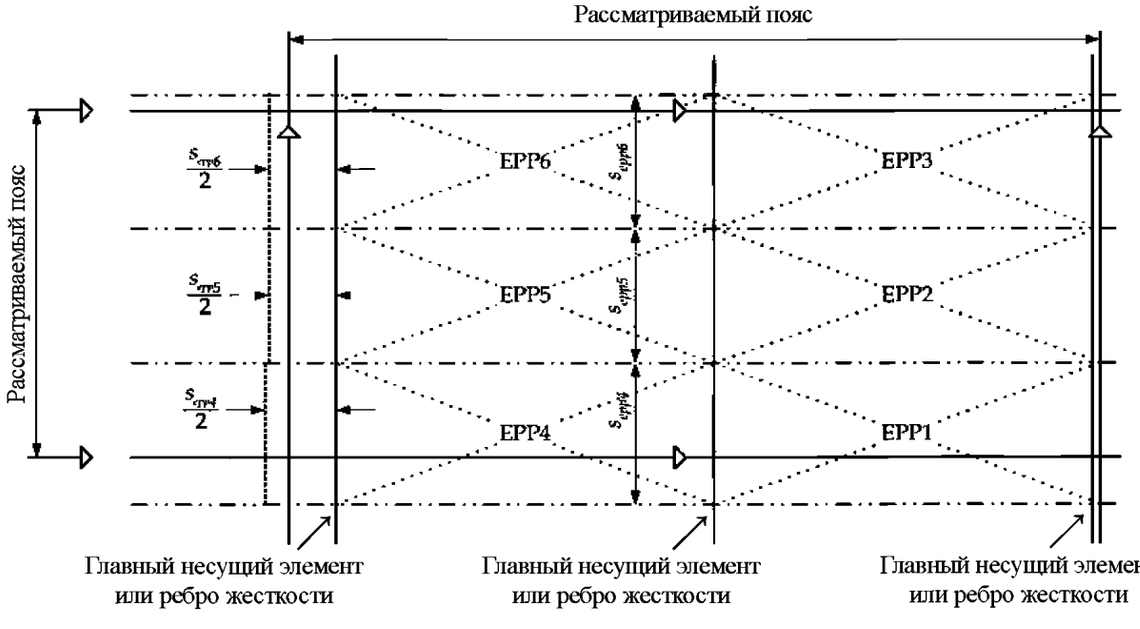


5.1.1.3 Для оценки прочности идеализация EPP может быть различной и учитывать устройство сетки в модели метода конечных элементов.

5.1.1.4 Требуемый размер связей пояса обшивки должен приниматься как наибольшая величина, требуемая для каждой EPP в пределах этого пояса, как получается для:

а) EPP, расположенной целиком в пределах границ пояса, например, EPP2 на *рис. 3.5.2*;
б) EPP с границей сварного шва пояса, разделяющей его преимущественно в направлении длинной кромки EPP, например, EPP1, 3, 4 и 6 на *рис. 3.5.2*;
в) EPP с границей сварного шва пояса, разделяющей его преимущественно в направлении короткой кромки EPP в пределах более половины ширины EPP s_{epp} от кромки, например, EPP1 и EPP2 на *рис. 3.5.3(а)*.

Рис. 3.5.2
Определение элементарных листовых панелей для пояса



5.1.2 Определение размеров связей элементарных листовых панелей для требований к размерам связей

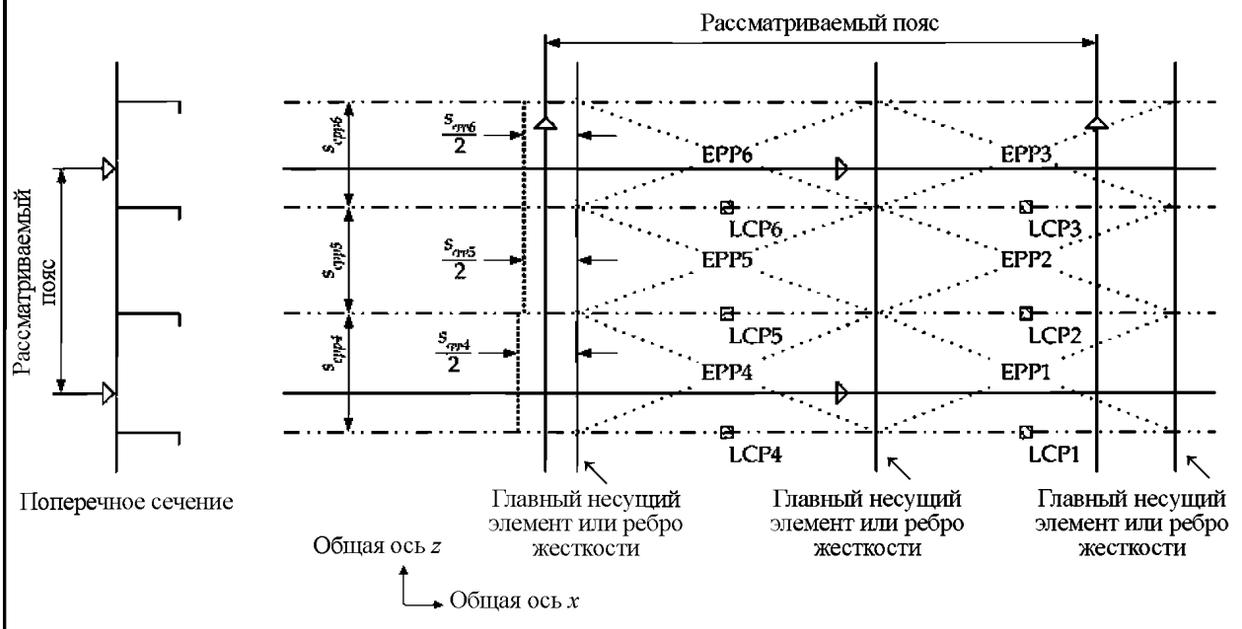
5.1.2.1 Требуемый размер связей каждой ЕРР должен рассчитываться исходя из расчетной точки приложения нагрузки, определенной следующим образом:

а) для продольного набора – в середине длины ЕРР, измеренной вдоль общей оси *x*, на ее нижней кромке. Для горизонтальной обшивки – как значение координаты *y* кромки ЕРР со стороны борта. См. *рис. 3.5.3(а)*;

б) для поперечного набора – в середине длины ЕРР, измеренной вдоль общей оси *x*, на нижней кромке пояса. Для горизонтальной обшивки – как значение координаты *y* кромки ЕРР со стороны борта. См. *рис. 3.5.3(б)*;

Рис. 3.5.3
Пример расчетной точки приложения нагрузки для типичных вариантов конструкции

а) Продольный набор



б) Поперечный набор

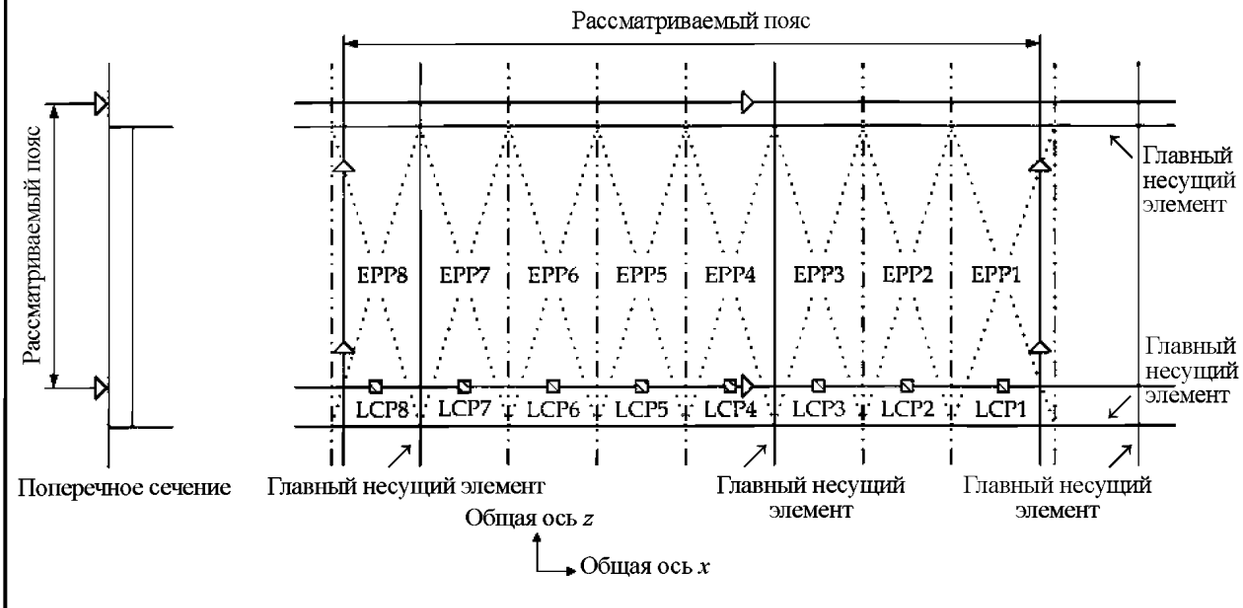
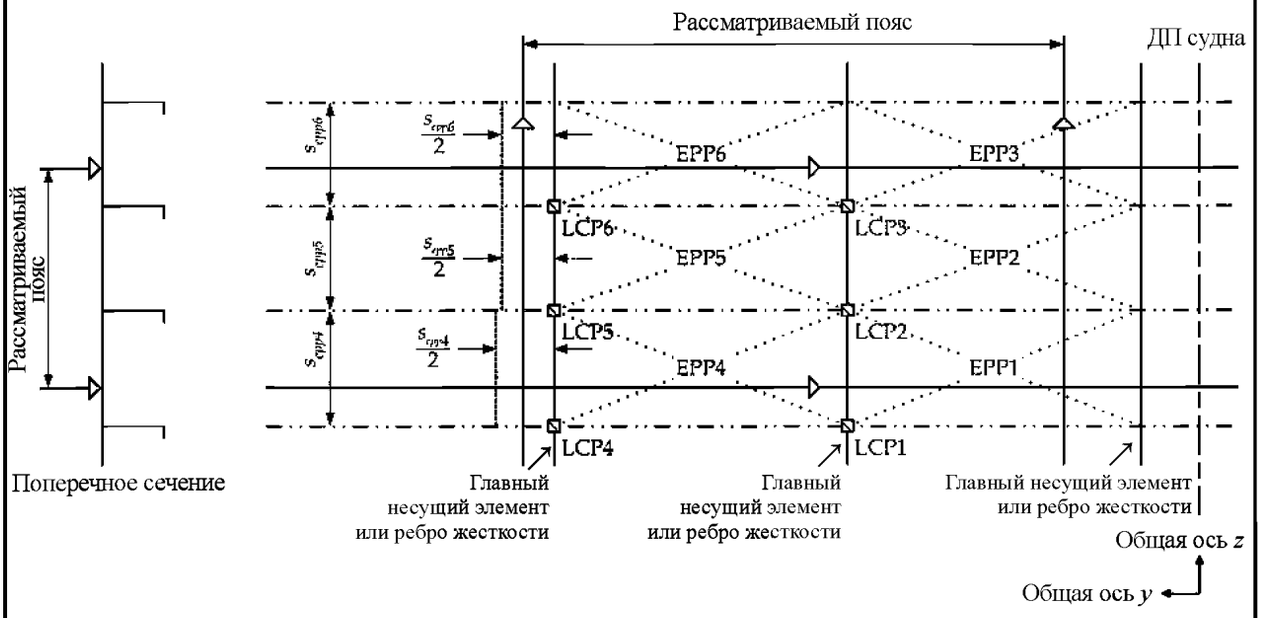
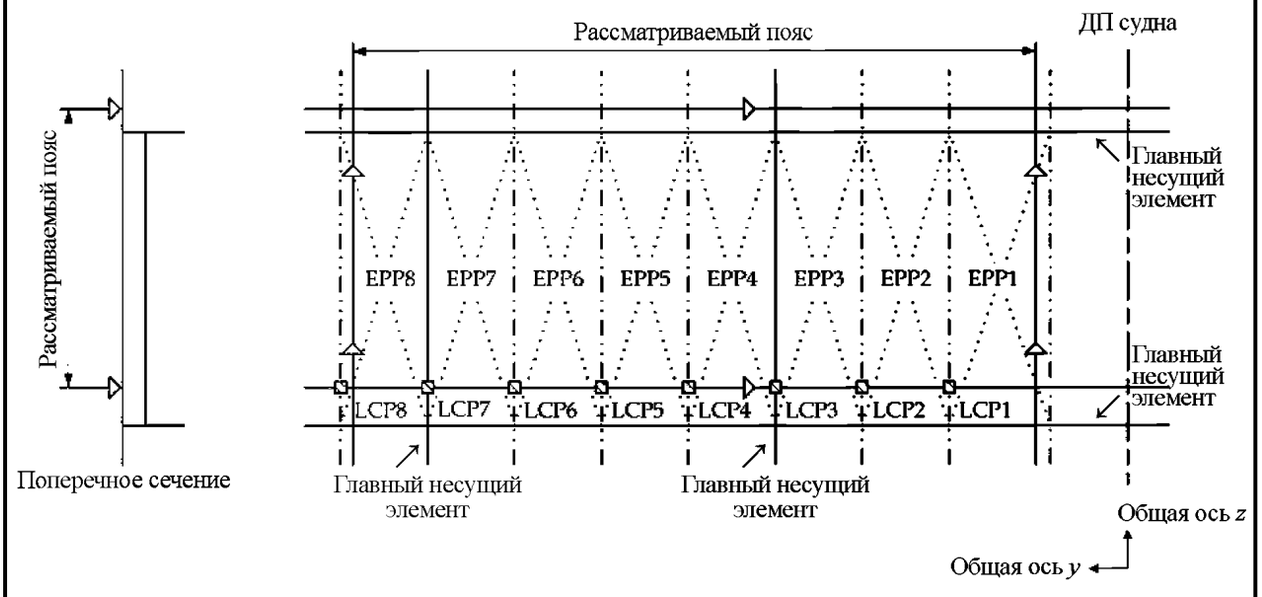


Рис. 3.5.3 (продолжение)
Пример расчетной точки приложения нагрузки для типичных вариантов конструкции

в) Горизонтальный набор на поперечной конструкции



г) Вертикальный набор на поперечной конструкции



в) для горизонтального набора на вертикальной поперечной конструкции – на нижней кромке EPP в точке с координатой *y* кромки EPP со стороны борта. См. рис. *3.5.3(в)*;

г) для вертикального набора на вертикальной поперечной конструкции – в точке с наибольшим значением координаты *y* для нижней кромки EPP или на нижней кромке пояса. См. *рис. 3.5.3(г)*.

5.1.2.2 Как местное давление, так и напряжение при расчете эквивалентного бруса, используемые для расчета требований к размерам местных связей, должны приниматься в расчетной точке приложения нагрузки.

5.1.3 Определение размеров связей элементарных листовых панелей для обеспечения общей прочности эквивалентного бруса

5.1.3.1 Требуемые размеры связей элементарных листовых панелей должны удовлетворять требованиям к изгибающим моментам и перерезывающим силам, действующим на корпус судна, указанным в *разделе 8/1*.

5.1.3.2 Требуемая толщина каждой элементарной листовой панели в отношении устойчивости должна рассчитываться на основе напряжений, принятых в середине длины ЕРР, измеренной вдоль общей оси *x*.

5.1.3.3 Оценка устойчивости должна рассчитываться с использованием распределения напряжений по ширине панели, определенного с помощью эталонного напряжения, принятого на кромке с максимальным напряжением, и уменьшенного напряжения на другой кромке, заданного как часть φ эталонного напряжения согласно *табл. 10.3.1*.

5.1.3.4 Необходимый размер связей пояса обшивки должен приниматься как наибольшая величина, требуемая для каждой ЕРР в пределах этого пояса, как получается для:

а) ЕРР, расположенной целиком в пределах границ пояса, например, ЕРР2 на *рис. 3.5.2*;
б) ЕРР с границей сварного шва пояса, разделяющей его преимущественно в направлении длинной кромки ЕРР, например, ЕРР1, 3, 4 и 6 на *рис. 3.5.2*;
в) ЕРР с границей сварного шва пояса, разделяющей его преимущественно в направлении короткой кромки ЕРР в пределах более половины ширины ЕРР s_{epp} от кромки, например, ЕРР1 и ЕРР2 на *рис. 3.5.3(а)*.

5.1.4 Определение размеров связей элементарных листовых панелей для оценки прочности методом конечных элементов

5.1.4.1 Требуемые размеры связей элементарных листовых панелей должны определяться по листовым элементам сетки при максимальной утилизации – см. *раздел 9/2*.

5.2 Определение размеров связей ребер жесткости

5.2.1 Определение размеров связей ребер жесткости – идеализация ребер жесткости

5.2.1.1 Размеры связей отдельных ребер жесткости должны определяться на основе идеализации построенной конструкции в виде серии подкрепленных панелей.

5.2.1.2 Подкрепленная панель состоит из единственного профиля идеализированного ребра жесткости и присоединенного пояска, подкрепляющего границу одной или более ЕРР. Размещение подкрепленных панелей основывается на идеализации конструкции согласно определению ЕРР в *5.1.1*.

5.2.1.3 Размеры связей ребер жесткости, основанные на требованиях *раздела 8*, могут быть определены на основе концепции объединения в группу определенных последовательно установленных ребер жесткости с одинаковыми размерами связей. Размер связей для группы должен приниматься как наибольший из:

а) среднего из требуемых размеров связей всех ребер жесткости группы;
б) 90 % наибольшего размера связей, требуемого для любого ребра жесткости в группе. Концепция объединения в группу не применима к усталостным требованиям согласно *разделу 9/3* и *приложению С*.

5.2.2 Определение размеров связей подкрепленных панелей для требований к размерам связей и усталость

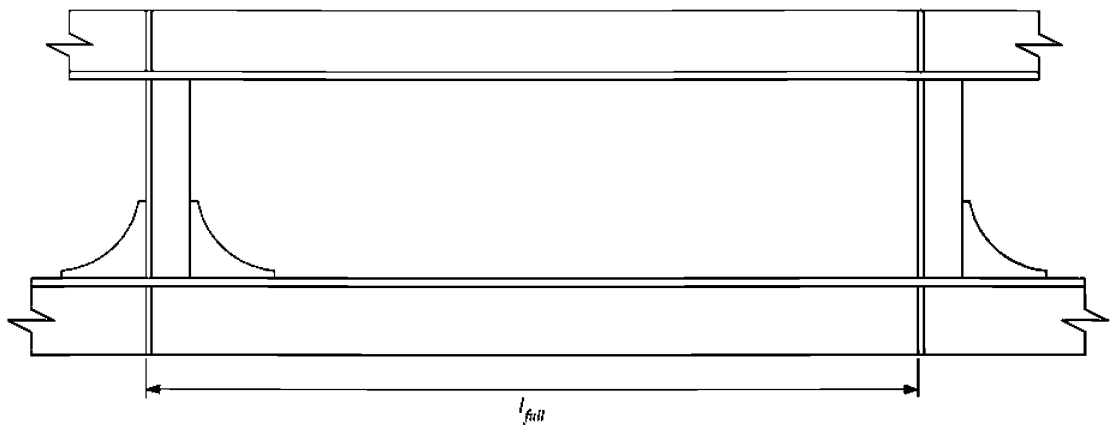
5.2.2.1 Требуемый размер связей подкрепленной панели должен определяться с учетом расчетной точки приложения нагрузки, расположенной следующим образом:

а) в середине полного пролета l_{full} ребра жесткости между главными несущими элементами – см. *рис. 3.5.4*;

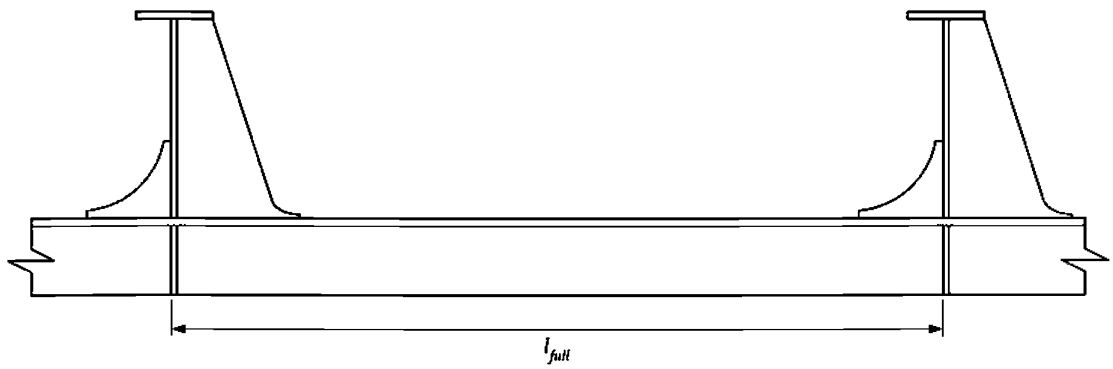
б) в соединении ребра жесткости с обшивкой.

Рис. 3.5.4
Определение полного пролета ребер жесткости l_{full}

Конструкция с двойной обшивкой



Конструкция с одинарной обшивкой



5.2.2.2 Для продольного и горизонтального набора расчетное давление должно приниматься как давление в середине полного пролета.

5.2.2.3 Для поперечного и вертикального набора расчетное давление должно приниматься как наибольшее из:

P_{ms} кН/м^2;

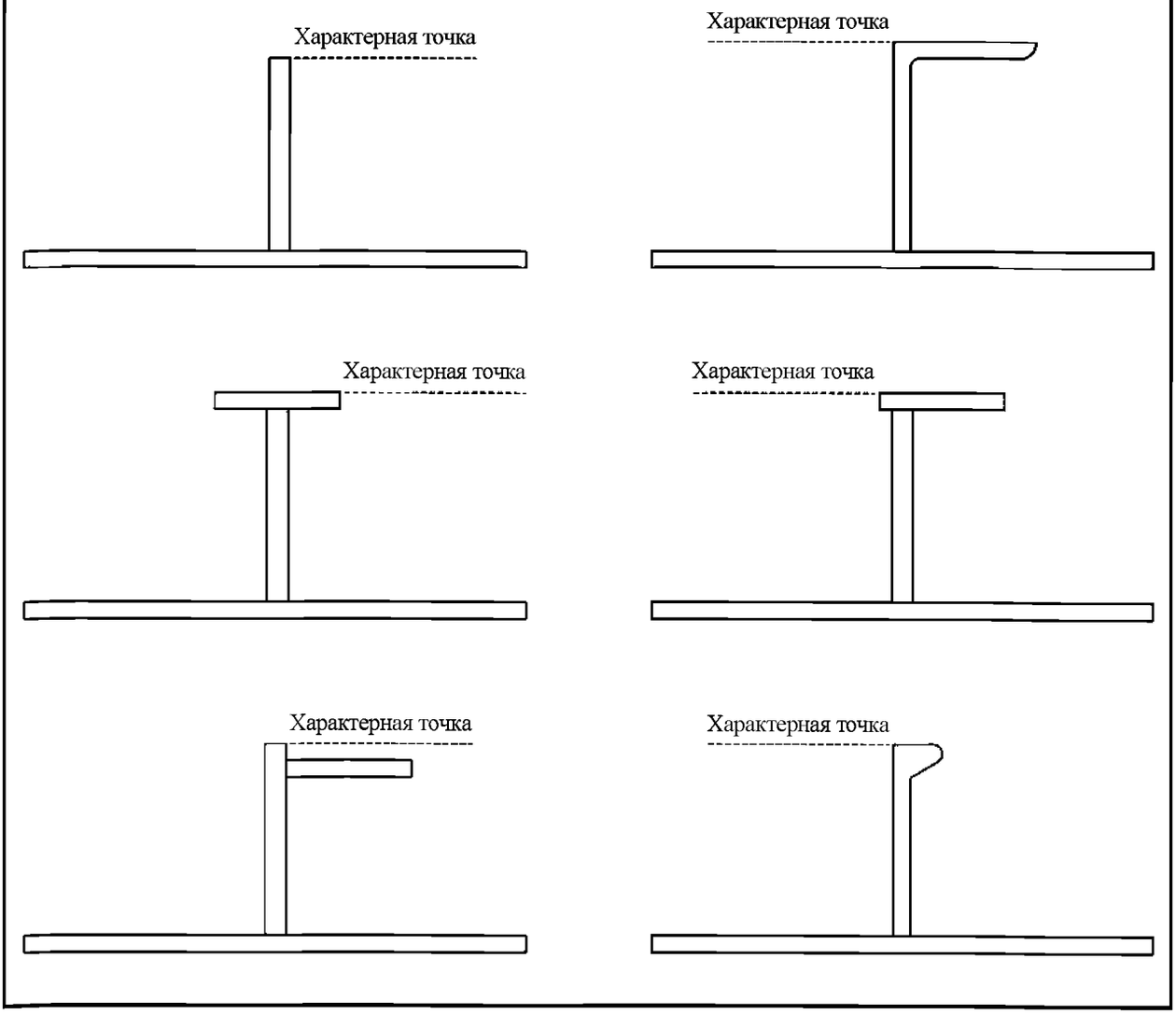
$$\frac{(P_{end\text{-}1} + P_{end\text{-}2})}{2} \text{ кН/м}^2,$$

где P_{ms} рассчитанное давление в середине полного пролета l_{full}, кН/м^2;
$P_{end\text{-}1}$ рассчитанное давление на первом конце полного пролета, кН/м^2;
$P_{end\text{-}2}$ рассчитанное давление на втором конце полного пролета, кН/м^2;
l_{full} полный пролет, м – см. *рис. 3.5.4.*

5.2.2.4 Требования к моменту сопротивления, приведенные в настоящих Правилах, относятся к исходной точке, дающей минимальный момент сопротивления. Как правило, она будет находиться на наружной поверхности свободного пояска. Исходная точка для расчета момента сопротивления типичных профилей показана на *рис. 3.5.5*.

5.2.2.5 Напряжение при расчете эквивалентного бруса для определения требований к размерам местных связей должно приниматься в характерной точке, как показано на *рис 3.5.5*.

Рис. 3.5.5
Характерная точка для расчета момента сопротивления и напряжения при расчете эквивалентного бруса для оценки размеров местных связей



5.2.3 Определение размеров связей подкрепленных панелей для общей прочности при расчете эквивалентного бруса при продольном изгибе

5.2.3.1 Требуемые размеры связей подкрепленной панели в отношении устойчивости должны быть основаны на продольном напряжении, рассчитанном в точке крепления ребра жесткости к листу и по середине длины ребра жесткости, измеренной вдоль общей оси *x*.

5.2.3.2 Требуемый размер связей согласно *5.2.3.1* применим к ребрам жесткости за пределами расстояния *s* от опоры, где *s* – шпация ребер жесткости.

5.2.4 Определение размеров связей подкрепленных панелей для оценки прочности методом конечных элементов

5.2.4.1 Требуемые размеры связей подкрепленной панели должны определяться исходя из прилагаемых напряжений согласно *разделу 9/2*.

5.2.5 Требования к площади сдвига ребер жесткости

5.2.5.1 Требования к площади сдвига и/или толщине ребер жесткости приведены в *разделе 8*.

5.2.5.2 Требования *раздела 8* должны рассчитываться с учетом точки приложения нагрузки согласно *5.2.2* и расчетной длины пролета, как указано в *разделе 4/2.1.2*.

5.2.5.3 Требования *раздела 8* должны оцениваться относительно фактической площади сдвига ребра жесткости, основанной на расчетной высоте сдвига ребра жесткости согласно *разделу 4/2.4.2*.

5.2.5.4 Влияние книц может быть учтено в определении расчетной длины пролета, но никакая часть кницы не должна включаться в расчет фактической площади сдвига.

5.2.6 Требования к изгибу ребер жесткости

5.2.6.1 Требования к моменту сопротивления и моменту инерции ребер жесткости приведены в *разделе 8*.

5.2.6.2 Требования *раздела 8* должны рассчитываться с учетом точки приложения нагрузки согласно *5.2.1* и расчетной длины пролета, как указано в *разделе 4/2.1.1*.

5.2.6.3 Требования *раздела 8* должны оцениваться относительно фактического момента сопротивления/момента инерции ребра жесткости. Стенка и полка ребра жесткости должны включаться в расчет фактических характеристик сечения.

5.2.6.4 Влияние книц может быть учтено в определении расчетной длины пролета, но никакая часть кницы не должна включаться в расчет момента сопротивления/момента инерции.

5.2.6.5 Если ребро жесткости изготовлено из материала повышенной прочности по сравнению с присоединенным листом, предел текучести при расчете требований к моменту сопротивления в *разделе 8* не должен, как правило, превышать более чем в 1,35 раза минимальный заданный предел текучести присоединенного листа. Если предел текучести ребра жесткости превышает это ограничение, то следует выполнить следующее условие:

$$\sigma_{yd\text{-}stf} \le (\sigma_{yd\text{-}plt} - |\sigma_{hg}|)\frac{Z_{net\text{-}plt}}{Z_{net}} + |\sigma_{hg}| \quad \text{Н/мм}^2,$$

где $\sigma_{yd\text{-}stf}$ заданный минимальный предел текучести материала ребра жесткости, Н/мм^2;
$\sigma_{yd\text{-}plt}$ заданный минимальный предел текучести материала присоединенного листа, Н/мм^2;
σ_{hg} максимальное напряжение в эквивалентном брусе при прогибе и перегибе (S + D), Н/мм^2, согласно *табл. 8.2.5* и *8.4.3* для ребер жесткости в районе грузовых танков и машинных помещений соответственно – не должно приниматься менее 0,4 $\sigma_{yd\text{-}plt}$;

Z_{net} момент сопротивления сечения нетто в районе свободного пояска/свободной кромки ребра жесткости, см^3;
$Z_{net\text{-}plt}$ момент сопротивления сечения нетто в районе присоединенного листа ребра жесткости, см^3.

5.2.7 Оценка наклонных ребер жесткости

5.2.7.1 Требования к площади сдвига и моменту сопротивления для элементов основного набора действительны относительно оси, параллельной плоскому фланцу. Если угол φ_w между стенкой и присоединенным листом меньше 75° (см. *рис. 4.2.14*), то фактические площадь сдвига и момент сопротивления должны быть уточнены согласно *разделам 4/2.4.2* и *2.4.3*. Угол между стенкой ребра жесткости φ_w и присоединенным листом не должен быть менее 50°.

5.3 Расчет и оценка требований к размерам главных несущих элементов

5.3.1 Точка приложения нагрузки для главных несущих элементов

5.3.1.1 Расчетная нагрузка для главных несущих элементов обычно принимается в середине площади нагружения. Расчетные нагрузки для главных несущих элементов определяются для отдельных элементов согласно *разделу 8*.

5.3.2 Требования к сдвигу для главных несущих элементов

5.3.2.1 Требования к площади сдвига и/или толщине стенки главных несущих элементов приведены в *разделе 8*.

5.3.2.2 Данные требования должны рассчитываться с учетом точки приложения нагрузки согласно *5.3.1* и расчетной длины пролета, как указано в *разделе 4/2.1.5*.

5.3.2.3 Данные требования должны оцениваться относительно фактической площади сдвига главного несущего элемента. Фактическая площадь сдвига главного несущего элемента определяется как толщина стенки, умноженная на общую высоту, включая фланцы. Влияние книц может быть учтено в определении расчетной длины пролета, но никакая часть кницы не должна включаться в расчет фактической площади сдвига.

5.3.3 Требования к изгибу главных несущих элементов

5.3.3.1 Требования к моменту сопротивления и моменту инерции ребер жесткости приведены в *разделе 8*.

5.3.3.2 Данные требования должны рассчитываться с учетом точки приложения нагрузки согласно *5.3.1* и расчетной длины пролета, как указано в *разделе 4/2.1.4*.

5.3.3.3 Данные требования должны оцениваться относительно фактического момента сопротивления/момента инерции главного несущего элемента. Стенка и фланцы включаются в расчет фактических характеристик сечения. Влияние книц может быть учтено в определении расчетной длины пролета, но никакая часть кницы не должна включаться в расчет момента сопротивления/момента инерции.

5.3.3.4 Если установка главного несущего элемента с требуемой высотой стенки нецелесообразна, то разрешается установка элемента с уменьшенной высотой стенки при условии обеспечения равноценного момента инерции, требуемого для этого элемента. Требуемый равноценный момент инерции должен быть основан на эквивалентном сечении, заданным фактической шириной обшивки в середине пролета с требуемой толщиной листа, требуемыми высотой и толщиной стенки, и достаточными шириной и толщиной свободного пояска, чтобы соответствовать требуемому моменту сопротивления для малоуглеродистой стали. Все другие требования Правил, такие как минимальные толщины, соотношение *s/t*, момент сопротивления сечения и площадь сдвига, должны выполняться для элемента с уменьшенной высотой стенки.

5.4 Округление рассчитанной толщины

5.4.1 Требуемая полная толщина

5.4.1.1 Минимальная требуемая полная толщина любого конструктивного элемента, устанавливаемого на стадии нового строительства, не считая надбавки по усмотрению судовладельца, должна приниматься как округленная требуемая толщина нетто с учетом соответствующего запаса на коррозию.

5.4.1.2 Требуемая толщина нетто получается округлением рассчитанной толщины нетто до ближайших 0,5 мм. Например:

а) для $10{,}75 \leq t_{calc\text{-}net} < 11{,}25$ мм требуемая согласно Правилам толщина – 11 мм;

б) для $11{,}25 \leq t_{calc\text{-}net} < 11{,}75$ мм требуемая согласно Правилам толщина – 11,5 мм.

РАЗДЕЛ 4. ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1 Определения

1.1 Главные характеристики

1.1.1 L, длина судна согласно правилам

1.1.1.1 Длина судна согласно правилам L – расстояние, измеренное на уровне ватерлинии при максимальной осадке по условиям прочности от передней кромки форштевня до оси баллера руля, м, L не должна быть менее 96 % и более 97 % наибольшей длины судна по летней грузовой ватерлинии. При необычной форме носовой и кормовой оконечности судна длина L подлежит специальному рассмотрению.

1.1.2 L_L, длина по грузовой марке

1.1.2.1 Определение длины по грузовой марке L_L дано в Международной конвенции о грузовой марке.

1.1.3 Теоретическая ширина

1.1.3.1 Теоретическая ширина B – наибольшая ширина судна, измеренная на миделе до теоретической линии шпангоута, м.

1.1.4 Теоретическая высота борта

1.1.4.1 Теоретическая высота борта D – расстояние по вертикали, м, измеренное на миделе, от теоретической основной линии до теоретической палубной линии самой верхней непрерывной палубы, измеренной на палубе у борта. На судах, имеющих закругленное соединение верхней палубы с бортом, D должна измеряться до продолжения теоретической палубной линии.

1.1.5 Осадка

1.1.5.1 Осадка T – осадка по летнюю грузовую марку для судна в эксплуатации, м, измеренная на миделе от теоретической основной линии. Она может быть меньше, чем максимально допустимая осадка по летнюю грузовую ватерлинию.

1.1.5.2 T_{bal} – минимальная расчетная осадка в балласте, м, при которой выполняются требования к прочности для размеров связей корпуса судна. Минимальная расчетная осадка в балласте не должна быть больше минимальной осадки в балласте, измеренная на миделе от теоретической основной линии, для любого состояния нагрузки в балласте в Инструкции по загрузке, включая состояние отхода и прибытия судна.

1.1.5.3 $T_{bal\text{-}n}$ – нормальная осадка в балласте, м, при отходе судна для нормального состояния нагрузки в балласте в Инструкции по загрузке, измеренная на миделе от теоретической основной линии. Нормальное состояние нагрузки в балласте – это состояние нагрузки в балласте согласно *разделу 8/1.1.2.2 a)*.

1.1.5.4 T_{full} – осадка в полном грузу, м, при отходе судна для состояния нагрузки в полном грузу при загрузке однородным грузом в Инструкции по загрузке, измеренная на миделе от теоретической основной линии. Эта осадка считается расчетной осадкой в полном грузу.

1.1.5.5 T_{sc} – максимальная расчетная осадка, м, при которой выполняются требования к прочности для размеров связей корпуса судна.

1.1.6 Мидель

1.1.6.1 Мидель должен рассматриваться как середина длины судна согласно правилам, L.

1.1.7 Теоретическое водоизмещение

1.1.7.1 Теоретическое водоизмещение Δ в тоннах, соответствующее объему подводной части судна при осадке T_{sc} в морской воде плотностью 1,025 т/м^3.

1.1.8 Наибольшая эксплуатационная скорость

1.1.8.1 Наибольшая эксплуатационная скорость V в узлах, которую судно рассчитано поддерживать при осадке по летнюю грузовую марку при частоте вращения гребного винта, соответствующей максимальной длительной мощности.

1.1.9 Коэффициент общей полноты

1.1.9.1 Коэффициент общей полноты C_b определяется как:

$$C_b = \nabla / LB_{WL} T_{sc},$$

где ∇ теоретическое объемное водоизмещение при максимальной осадке по условиям прочности, м^3;
L длина судна согласно правилам – см. *1.1.1.1*;
B_{WL} теоретическая ширина, м, на уровне ватерлинии при максимальной осадке по условиям прочности;
T_{sc} осадка согласно *1.1.5.5*.

1.1.10 Длина между перпендикулярами

1.1.10.1 Длина между перпендикулярами L_{pp} – расстояние, м, измеренное на уровне ватерлинии при максимальной осадке по условиям прочности от передней кромки форштевня до кормовой кромки рудерпоста или до оси баллера руля при отсутствии рудерпоста.

1.1.11 Носовой перпендикуляр

1.1.11.1 Носовой перпендикуляр НП – перпендикуляр на пересечении ватерлинии при максимальной осадке по условиям прочности с носовой кромкой форштевня. НП – перпендикуляр, ограничивающий в носовой оконечности длину судна согласно правилам L.

1.1.12 Кормовой перпендикуляр

1.1.12.1 Кормовой перпендикуляр КП – перпендикуляр, ограничивающий на кормовой оконечности длину судна согласно правилам L, измеренную от НП.

1.1.13 Коэффициент общей полноты при осадке по грузовую марку

1.1.13.1 Коэффициент общей полноты при осадке по грузовую марку C_{bL} определяется в Международной конвенции о грузовой марке следующим образом:

$$C_{bL} = \nabla_L / L_L B T_L,$$

где ∇_L теоретическое объемное водоизмещение при теоретической осадке T_L, м^3;
L_L длина по грузовой марке согласно *1.1.2.1*;
B теоретическая ширина согласно *1.1.3.1*, м;
T_L теоретическая осадка, измеренная до ватерлинии на уровне 85 % наименьшей теоретической высоты борта, м.

1.1.14 Дедвейт

1.1.14.1 Дедвейт – дедвейт судна, т, плавающего в воде с удельным весом 1,025 при осадке по летнюю грузовую марку.

1.2 Район 1 и Район 2

1.2.1 Район 1

1.2.1.1 Район 1 – определяется как открытые палубы надводного борта и возвышенных квартердеков, а также открытые палубы надстроек, расположенные в пределах $0{,}25L_L$ от носового перпендикуляра.

1.2.2 Район 2

1.2.2.1 Район 2 – определяется как открытые палубы надстроек, расположенные в пределах $0{,}25L_L$ в корму от носового перпендикуляра.

1.3 Надводный борт типа «А» и «В»

1.3.1 Определение в Международной конвенции о грузовой марке

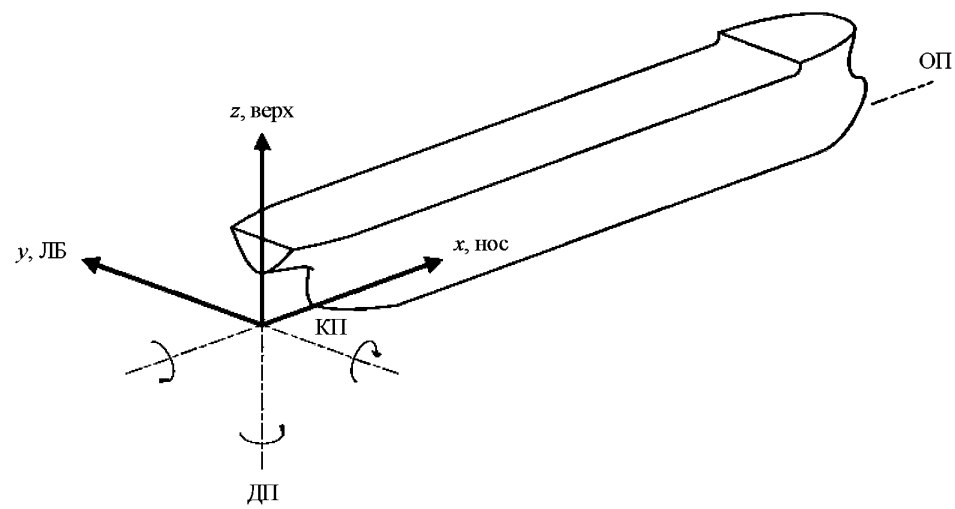
1.3.1.1 Надводный борт типа «А» и «В» – согласно определениям Международной конвенции о грузовой марке.

1.4 Система координат

1.4.1 Начало координат и направление осей

1.4.1.1 Система координат, применяемая в настоящих Правилах, показана на *рис. 4.1.1*. Качка и перемещения в направлении носа судна, вверх и к левому борту считаются положительными. Угловые перемещения по часовой стрелке вокруг осей x, y или z считаются положительными.

Рис. 4.1.1
Система координат



1.5 Принятая терминология

1.5.1 Терминология для переборок

1.5.1.1 *Рис. 4.1.2*, *4.1.3* и *4.1.4* содержат общую терминологию для конструктивных элементов, применяемую в настоящих Правилах.

Рис. 4.1.2
Терминология для конструктивных элементов поперечной гофрированной переборки

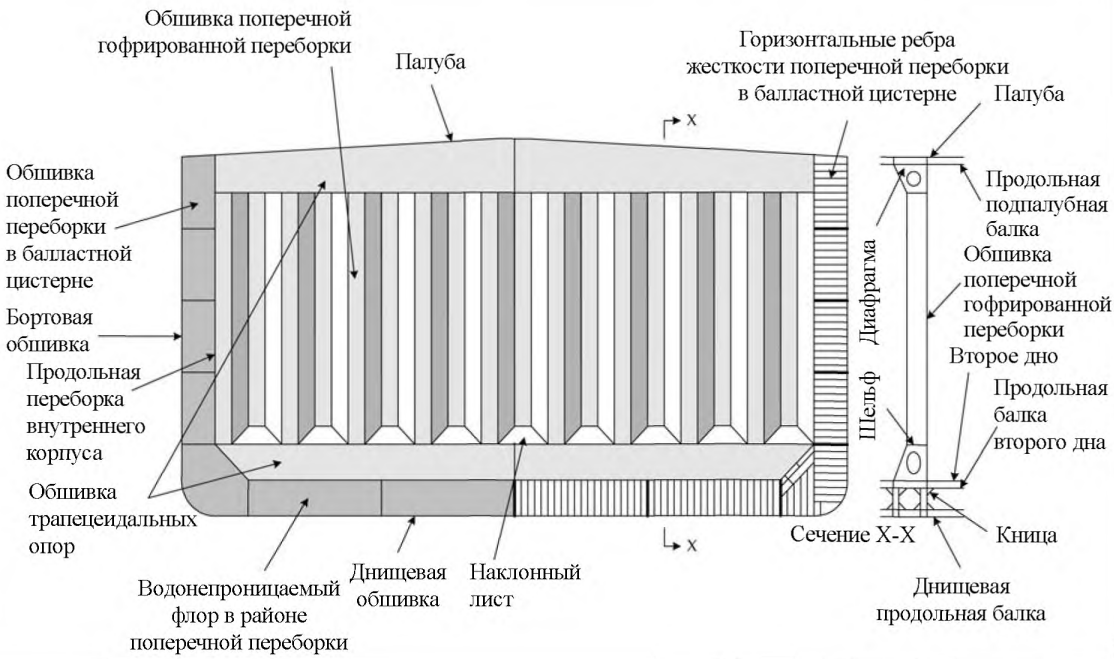


Рис. 4.1.3
Терминология для конструктивных элементов плоской поперечной переборки

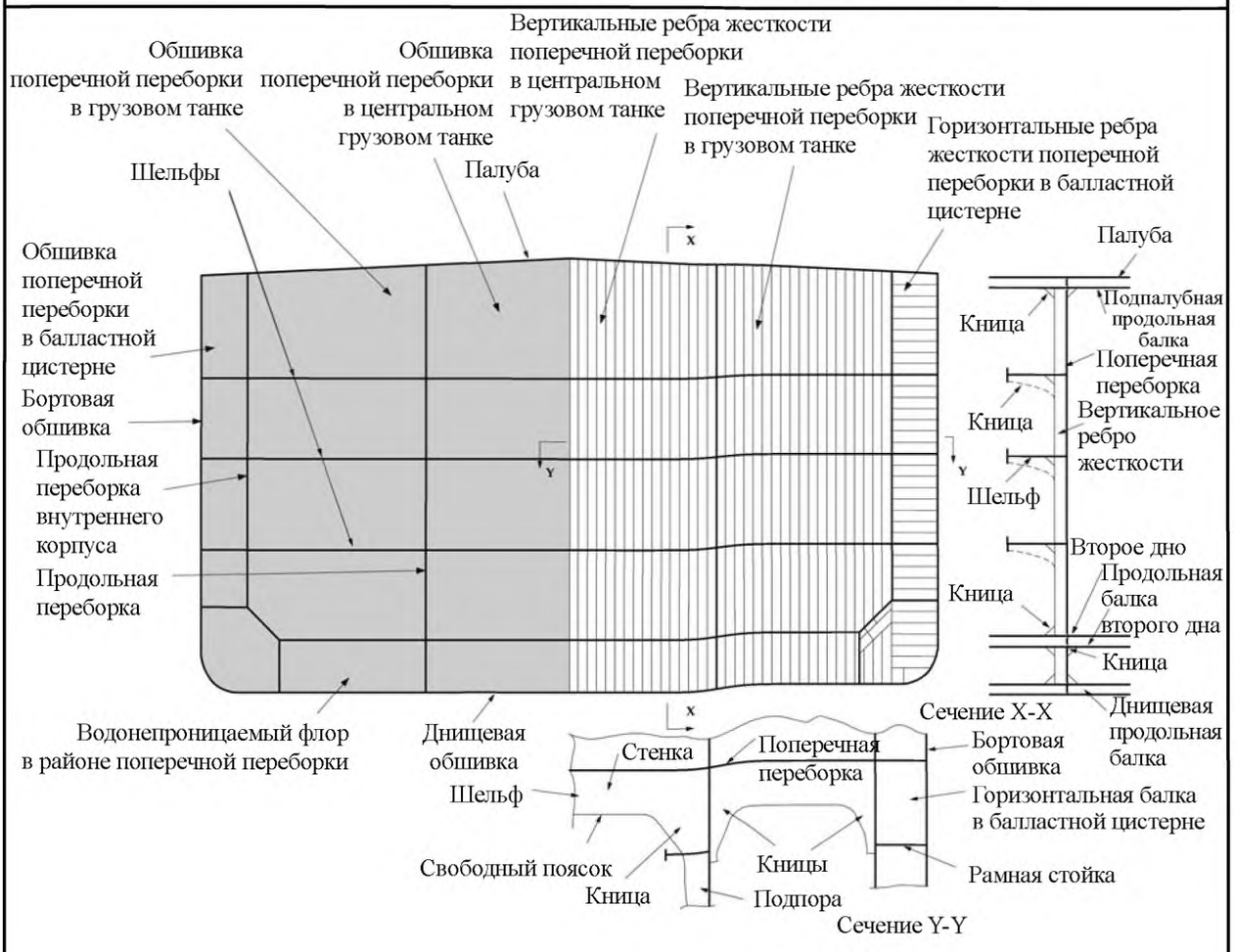
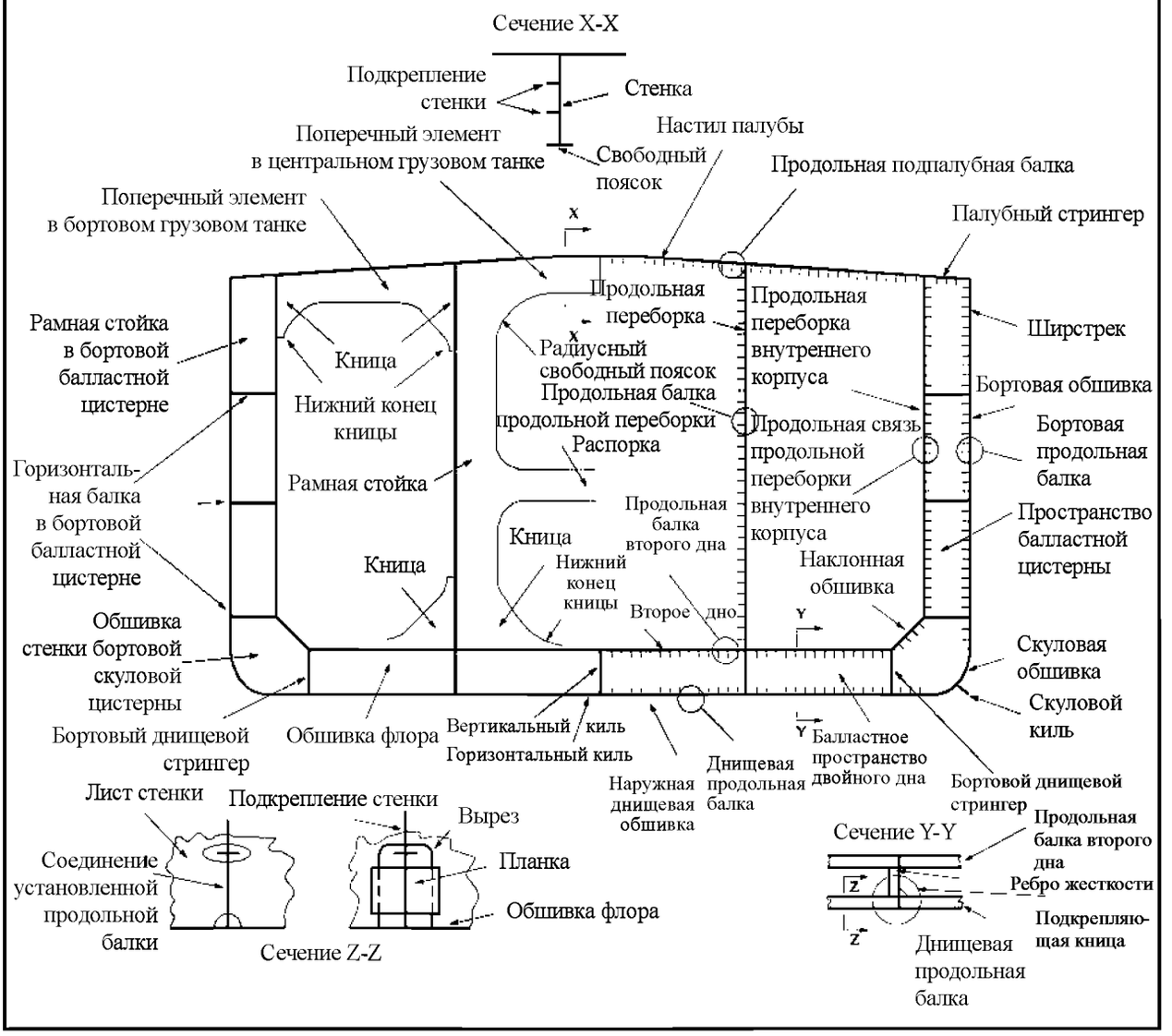


Рис. 4.1.4
Поперечное сечение посередине грузового трюма



1.6 Условные обозначения

1.6.1 Общие положения

1.6.1.1 Условные обозначения и подстрочные знаки, применяемые в настоящих Правилах, определяются в местах их появления. Главные характеристики, определенные в *1.1*, в пределах текста могут употребляться без ссылок.

1.7 Единицы измерения

1.7.1 Общие положения

1.7.1.1 В настоящих Правилах используются единицы измерения, приведенные ниже. Единицы измерения, используемые в уравнениях, приводятся по месту.

а) Общие:

– размеры/расстояния	м
– основные интервалы	м
– второстепенные интервалы	мм

– площадь	$м^2$
– объем	$м^3$
– масса	т
– скорость	м/с
– ускорение	$м/с^2$
б) Характеристики эквивалентного бруса:	
– размеры	м
– площадь	$м^2$
– момент сопротивления	$м^3$
– момент инерции	$м^4$
– статический момент площади	$м^3$
в) Характеристики ребра жесткости:	
– размеры	мм
– площадь	$см^2$
– момент сопротивления	$см^3$
– инерция	$см^4$
– длина/эффективная длина	м
– пролет	м
г) Размеры обшивки:	
– ширина	мм
– длина	м
– толщина	мм
д) Нагрузки:	
– давление	$кН/м^2$
– нагрузка	кН
– изгибающий момент	кНм
– перерезывающая сила	кН
е) Прочие:	
– предел текучести	$Н/мм^2$
– напряжение	$Н/мм^2$
– деформация	мм
– модуль упругости	$Н/мм^2$
– плотность	$т/м^3$
– водоизмещение	т
– угол	град
– рассчитанный угол	рад
– период	с
– частота	гц
– скорость судна	уз

1.8 Словарь специальных терминов

1.8.1 Определения терминов

1.8.1.1 Термины в *табл. 4.1.1* используются в настоящих Правилах для описания соответствующих объектов.

Таблица 4.1.1

Определения терминов

Термин	Определение
1	2
Жилая палуба	Палуба, используемая в основном для размещения экипажа
Забортный трап	Переносной трап на борту судна для доступа с малого судна или причала
Ахтерпик	Пространство в корму от ахтерпиковой переборки
Ахтерпиковая переборка	Первая главная поперечная водонепроницаемая переборка от кормы
Ахтерпик	Отсек в узкой части кормы в корму от ахтерпиковой переборки
Якорь	Устройство, которое крепится одним концом к якорной цепи и опускается на морское дно для удержания судна; оно предназначено для захвата за грунт в процессе волочения судном, находящимся под действием ветра и течения; обычно сплошная или толстостенная отливка
Балластный танк	Отсек, используемый для хранения водяного балласта
Участок	Пространство между смежными шпангоутными рамами или поперечными переборками
Скуловой киль	Листовая полоса, установленная перпендикулярно обшивке судна вдоль скуловой части для уменьшения бортовой качки
Скуловая обшивка	Район криволинейной обшивки между днищевой обшивкой и бортовой обшивкой. Принимается следующим образом: от начала кривизны на нижнем повороте скулы на днище до окончания кривизны на верхнем повороте скулы на бортовой обшивке или $0{,}2D$ над основной плоскостью/местным подъемом ДП, смотря по тому, что меньше
Скуловой пояс	Нижний пояс скуловой обшивки
Ступица	Ступица гребного винта – центральная часть, к которой крепятся лопасти гребного винта и через которую проходит конец вала
Днищевая обшивка	Контур наружной обшивки, образующий преимущественно плоскую днищевую часть контура наружной обшивки, включая горизонтальный киль
Нос	Конструктивное устройство и форма носовой части судна
Носовой якорь	Якорь, находящийся в носу судна
Кница	Дополнительный конструктивный элемент, используемый для повышения прочности соединения между двумя конструктивными элементами
Кромка кницы	Узкий конец зауженной кницы
Волнолом	Наклонная и подкрепленная листовая конструкция на открытой палубе для разрушения и отражения потока воды, поступающей через нос судна
Брештук	Треугольная листовая кница, соединяющая на форштевне конструктивные элементы правого и левого бортов
Мостик	Возвышенная надстройка с беспрепятственным обзором вперед и по бортам, откуда осуществляется управление судном
Полособульб	Ребро жесткости, использующее увеличенную массу стали на наружном конце стенки вместо отдельного фланца
Переборка	Конструктивная разделительная стенка, делящая внутренний объем судна на отсеки
Палуба переборок	Самая верхняя непрерывная палуба, до которой доводятся поперечные переборки и наружная обшивка
Трапецеидальная опора переборки	Нижнее или верхнее основание гофрированной переборки

1	2
Конструкция переборки	Обшивка поперечной или продольной переборки с ребрами жесткости и шельфами
Фальшборт	Вертикальная обшивка непосредственно над верхней кромкой борта судна вокруг открытой палубы
Топливная цистерна	Отсек для хранения топлива, используемого судовыми механизмами
Канат	Трос или цепь, прикрепленные к якорю
Погибь	Подъем открытой палубы от обоих бортов судна к ДП
Переборка грузового танка	Граничная переборка, разделяющая грузовые танки
Грузовая зона	Часть судна, где находятся грузовые танки и грузовые/отстойные танки и смежные пространства, включая балластные цистерны, топливные цистерны, коффердамы, пустые пространства и включая также районы палубы на всей длине и ширине части судна над указанными пространствами. Она включает таранную переборку и поперечную переборку с кормовой стороны грузового пространства
Карлингс	Подкрепляющий элемент, применяемый в дополнение к основной системе подкреплений
Кожух	Покрытие или ограждение вокруг или около любого пространства с целью защиты
Ячеистая конструкция	Конструктивное устройство, при котором две близко расположенные границы и листы внутренних диафрагм расположены таким образом, чтобы образовать небольшие отсеки
Вертикальный киль	Продольный элемент, расположенный в ДП судна
Цепь	Соединенные металлические кольца или звенья, применяемые для удержания якоря, крепления лесного груза и т.д.
Цепной ящик	Отсек, обычно расположенный в носовой части судна и используемый для хранения якорной цепи
Цепная труба	Отрезок трубы, через который якорная цепь входит или выходит из цепного ящика
Стопор якорной цепи	Устройство для крепления якорного каната при стоянке на якоре, а также для крепления якоря при походном положении в цепной трубе, снимая таким образом напряжение с брашпиля
Комингс	Вертикальная граничная конструкция люка или светового люка
Коффердамы	Пространства между двумя переборками или палубами, предназначенные в основном для предохранения от протечек нефти из одного отсека в другой
Планка	Накладка, используемая для частичного или полного закрытия отверстия, вырезанного для прохода продольного ребра жесткости через поперечную стенку
Таранная переборка	Первая со стороны носа судна главная поперечная водонепроницаемая переборка
Сходной трап	Брызгонепроницаемый вход, ведущий с палубы судна в расположенные ниже помещения
Отсек	Внутреннее пространство, ограниченное переборками или обшивкой
Труднодоступное пространство	Пространство, определяемое одной из следующих характеристик: ограниченное число отверстий для входа-выхода, недостаточная естественная вентиляция или не предназначено для длительного выполнения работ
Гофрированная переборка	Переборка, обшивка которой выполнена в виде гофров
Распорка	Крупные поперечные конструктивные элементы, соединяющие продольные переборки и предназначенные для их подкрепления против гидростатических и гидродинамических нагрузок

Продолжение табл. 4.1.1

1	2
Палуба	Горизонтальный конструктивный элемент, определяющий верхнюю или нижнюю границу отсека
Рубка	Конструкция на палубе надводного борта или палубе надстройки, не доходящая до бортов судна
Палубная конструкция	Обшивка палубы с ребрами жесткости, балками и пиллерсами
Диптанк	Любая цистерна между двумя палубами или между наружной обшивкой/вторым дном и вышележащей палубой или выше
Стоки	Любой трубопровод, доведенный до борта для сброса льяльных вод, циркуляционной воды, осушения и т.д.
Доковая кница	Кница, расположенная в двойном дне, для местного подкрепления днищевой конструкции при доковании
Конструкция двойного дна	Наружная обшивка с ребрами жесткости под настилом второго дна и другими расположенными ниже элементами, включая настил второго дна
Накладной лист	Небольшой лист, прикрепленный к листу большей площади, требующему подкрепления в этом месте – обычно в месте крепления ребра жесткости
Конструктивная деталь двойной обшивки	Конструктивная деталь двойной обшивки определяется как элемент конструкции, где идеализированная балка состоит из составных балок, у которых верхний и нижний фланцы образованы примыкающей обшивкой
Коробчатый киль	Киль, листы которого образуют коробчатую форму, простирающийся на длину грузового танка. Он используется для размещения балластных и других трубопроводов, идущих в носовую часть судна, которые в ином случае проходили бы через грузовые танки
Закрытая надстройка	Надстройка с переборками в носу и/или корме, снабженными брызгонепроницаемыми дверями и устройствами закрытия
Переборка машинного отделения	Поперечная переборка или непосредственно в нос или в корму от машинного отделения
Свободный поясок	Часть подкрепляющего элемента, прикрепленная к стенке, и обычно параллельная подкрепляемой поверхности
Фланец	Часть подкрепляющего элемента, обычно прикрепленная к стенке, но иногда образуется отгибанием стенки. Обычно параллельна подкрепляемой поверхности
Полоса	Ребро жесткости, состоящее только из стенки
Флор	Поперечный конструктивный элемент днища
Бак	Короткая надстройка, расположенная в носу судна
Форпик	Пространство судна, расположенное в нос от таранной переборки
Палуба форпика	Короткая приподнятая палуба, простирающаяся в корму от носа судна
Палуба надводного борта	Обычно самая верхняя непрерывная палуба, открытая для воздействия погоды и моря, которая имеет постоянные устройства закрытия для всех открытых отверстий
Штормовой шпигат	Отверстие в фальшборте для свободного стока за борт воды, попавшей на палубу
Переходной мостик	Приподнятый проход между надстройками, такой как между баком и мостиком или между мостиком и ютом
Балка	Общий термин для главных несущих элементов
Рулевая петля	Опора с отверстием в центре для входа штыря пера руля; размещается на ахтерштевне, поддерживает перо руля и позволяет ему поворачиваться
Верхняя кромка борта	Верхняя кромка бортов судна

1	2
Кница	Треугольный лист, устанавливаемый обычно для распределения усилий в прочном соединении двух конструктивных элементов
Люки	Обычно прямоугольные отверстия в палубе судна, обеспечивающие доступ в расположенный ниже отсек
Якорная труба	Стальная труба, через которую проходит якорный трос или канат; размещается в носу судна с обоих бортов; также известна как цепная труба
Кабельтов	Стальной трос или растительный канат большого диаметра, используемый для буксировки или швартовки
Наклонная обшивка	Обшивка по длине отсека, наклоненная между настилом двойного дна и обшивкой внутреннего борта
HP	Голландский профиль
Вкладная цистерна	Автономная цистерна
Внутренний корпус	Внутренняя обшивка, образующая второй контур корпуса судна
Разрезная связь	Продольный прерывистый конструктивный элемент между флорами или шпангоутами судна
JIS	Японский промышленный стандартный профиль
Киль	Основной конструктивный элемент или главная опора судна, идущая в продольном направлении вдоль осевой линии днища. Обычно это плоский лист, подкрепленный вертикальным листом по диаметральной линии с внутренней стороны наружной обшивки
Излом	Разрыв непрерывности конструктивного элемента
Вырез для облегчения конструкции	Отверстие, вырезанное в конструктивном элементе для снижения его веса
Проточное отверстие	Небольшое отверстие для протока, вырезанное в шпангоуте или листе для предотвращения скопления воды или нефти
Элементы основного набора	Элементы основного набора определяются как элементы, которые влияют только на конструктивную целостность отдельной панели, например, палубные бимсы
Продольная диаметральная переборка	Продольная переборка в ДП судна
Продольные конструктивные элементы эквивалентного бруса	Конструктивные элементы, участвующие в обеспечении общей прочности корпуса судна, включая: палубу, борта, днище, второе дно, продольные переборки второго корпуса, включая наклонную обшивку подпалубной цистерны, если применимо, наклонную обшивку скуловой цистерны, скуловую обшивку, продольные переборки, балки двойного дна и шельфы в бортовых балластных цистернах
Закрытая надстройка	Надстройка с переборками в носу и/или корме, снабженными брызгонепроницаемыми дверями и устройствами закрытия
Переборка машинного отделения	Поперечная переборка или непосредственно в нос или в корму от машинного отделения
Свободный поясок	Часть подкрепляющего элемента, прикрепленная к стенке, и обычно параллельная подкрепляемой поверхности
Фланец	Часть подкрепляющего элемента, обычно прикрепленная к стенке, но иногда образуется отгибанием стенки. Обычно параллельна подкрепляемой поверхности
Полоса	Ребро жесткости, состоящее только из стенки
Флор	Поперечный конструктивный элемент днища

Продолжение табл. 4.1.1

1	2
Бак	Короткая надстройка, расположенная в носу судна
Форпик	Пространство судна, расположенное в нос от таранной переборки
Палуба форпика	Короткая приподнятая палуба, простирающаяся в корму от носа судна
Палуба надводного борта	Обычно самая верхняя непрерывная палуба, открытая для воздействия погоды и моря, которая имеет постоянные устройства закрытия для всех открытых отверстий
Штормовой шпигат	Отверстие в фальшборте для свободного стока за борт воды, попавшей на палубу
Переходной мостик	Приподнятый проход между надстройками, такой как между баком и мостиком или между мостиком и ютом
Балка	Общий термин для главных несущих элементов
Рулевая петля	Опора с отверстием в центре для входа штыря пера руля; размещается на ахтерштевне, поддерживает перо руля и позволяет ему поворачиваться
Верхняя кромка борта	Верхняя кромка бортов судна
Кница	Треугольный лист, устанавливаемый обычно для распределения усилий в прочном соединении двух конструктивных элементов
Люки	Обычно прямоугольные отверстия в палубе судна, обеспечивающие доступ в расположенный ниже отсек
Якорная труба	Стальная труба, через которую проходит якорный трос или канат; размещается в носу судна с обоих бортов; также известна как цепная труба
Кабельтов	Стальной трос или растительный канат большого диаметра, используемый для буксировки или швартовки
Наклонная обшивка	Обшивка по длине отсека, наклоненная между настилом двойного дна и обшивкой внутреннего борта
HP	Голландский профиль
Вкладная цистерна	Автономная цистерна
Внутренний корпус	Внутренняя обшивка, образующая второй контур корпуса судна
Разрезная связь	Продольный прерывистый конструктивный элемент между флорами или шпангоутами судна
JIS	Японский промышленный стандартный профиль
Киль	Основной конструктивный элемент или главная опора судна, идущая в продольном направлении вдоль осевой линии днища. Обычно это плоский лист, подкрепленный вертикальным листом по диаметральной линии с внутренней стороны наружной обшивки
Излом	Разрыв непрерывности конструктивного элемента
Вырез для облегчения конструкции	Отверстие, вырезанное в конструктивном элементе для снижения его веса
Проточное отверстие	Небольшое отверстие для протока, вырезанное в шпангоуте или листе для предотвращения скопления воды или нефти
Элементы основного набора	Элементы основного набора определяются как элементы, которые влияют только на конструктивную целостность отдельной панели, например, палубные бимсы
Продольная диаметральная переборка	Продольная переборка в ДП судна

1	2
Продольные конструктивные элементы эквивалентного бруса	Конструктивные элементы, участвующие в обеспечении общей прочности корпуса судна, включая: палубу, борта, днище, второе дно, продольные переборки второго корпуса, включая наклонную обшивку подпалубной цистерны, если применимо, наклонную обшивку скуловой цистерны, скуловую обшивку, продольные переборки, балки двойного дна и шельфы в бортовых балластных цистернах
Продольные конструктивные элементы эквивалентного бруса, воспринимающие срезывающие усилия	Конструктивные элементы, участвующие в обеспечении прочности в отношении вертикальных срезывающих нагрузок в корпусе судна, включая: борта, продольные переборки внутреннего корпуса, наклонную обшивку скуловой цистерны, продольные переборки и стрингеры двойного дна
Лаз	Круглое или овальное отверстие, вырезанное в палубах, цистернах и т.п. для обеспечения доступа
Крайний междудонный лист	Примыкающий к борту пояс второго дна и, если он наклонен в сторону скулы, то он (или днищевой стрингер) образует наружную границу второго дна
Надрез	Нарушение непрерывности конструктивного элемента, вызванное сваркой
Топливная цистерна	Цистерна, используемая для хранения топлива
Пиллерс	Вертикальная опора, установленная между палубами там, где палуба не имеет опоры на наружную обшивку или переборку
Штырь	Вертикальный палец на носовой кромке пера руля, который входит в рулевую петлю и обеспечивает подвеску пера руля на ахтерштевне и его поворот
Туннель для трубопроводов	Пустое пространство в ДП в средней части судна между вторым дном и наружной обшивкой, образующее защитное пространство для осушительных, балластных и других трубопроводов, проложенных от машинного отделения к танкам
Ют	Пространство под закрытой надстройкой в самом конце кормовой оконечности судна
Палуба юта	Первая палуба над шельтердеком в кормовой оконечности судна
Главные несущие элементы	Конструктивные элементы типа бимсов, продольных балок или стрингеров, которые обеспечивают общую конструктивную целостность контура корпуса и границ танков, например, флоры и стрингеры двойного дна, поперечные бортовые конструкции, рамные бимсы, шельфы переборок и рамные стойки продольных переборок
Руль	Устройство (обычно обтекаемого профиля или пластинчатое), используемое для управления судном. Обычный тип – вертикальный стабилизатор в корме, который может поворачиваться с 35° ЛБ до 35° ПрБ; характеристиками пера руля являются – площадь, относительное удлинение и форма.
Дугообразный вырез	Отверстие, вырезанное в ребре жесткости для выполнения непрерывного сварного шва на листе
Соединительная кница	Кница, используемая между двумя смещенными конструктивными элементами
Размеры связей корпуса судна	Размеры конструктивного элемента
Шпигат	Любое отверстие для удаления воды с палубы или непосредственно, или через трубопровод
Горловина	Небольшое отверстие в палубе или где-либо, обычно имеющее крышку или дверь для доступа в помещение
Наклонные листы, обеспечивающие ссыпание груза	Наклонные листы, устанавливаемые для минимизации скопления остатков груза в районе гофрированных переборок
Ширстрек	Верхний пояс бортовой наружной обшивки судна

Продолжение табл. 4.1.1

1	2
Шельфовый лист	Горизонтальный лист, установленный сверху трапецеидальной опоры переборки
Обшивка по контуру корпуса судна	Наружная обшивка, образующая эффективный эквивалентный брус
Бортовая обшивка	Обшивка по контуру корпуса судна, образующая бортовую часть обшивки корпуса выше скуловой обшивки
Конструктивная деталь одинарной обшивки	Конструктивная деталь одинарной обшивки определяется как элемент конструкции, где идеализированная балка состоит из составной балки, у которой верхний фланец образован примыкающей обшивкой, а нижний – имеет полку
Световой люк	Палубное отверстие со стеклянным иллюминатором или без него, служащее вентилятором для машинного отделения, жилых помещений и т.д.
Отстойная цистерна	Цистерна нефтетанкера, которая используется для сбора нефтеводяных смесей из грузовых танков после их мойки
Помещения	Отдельные отсеки, включая танки
Стойка	Кницы фальшборта и комингса люка
Форштевень	Отрезок бруса или обшивка, на которых заканчивается наружная обшивка судна в носовой оконечности
Ахтерштевень	Массивный прочный конструктивный элемент на одно– и трехвинтовых судах, включающий рудерпост
Дейдвудная труба	Труба, через которую вал проходит к гребному винту; служит кормовым подшипником для валопровода и может иметь водяную или масляную смазку
Ребро жесткости	Общий термин для второстепенных подкрепляющих конструктивных элементов
Трапецеидальная опора	Конструкция, поддерживающая переборки танков
Пояс	Ряд обшивки наружного корпуса, палубы, переборки или другой обшивки
Прочная палуба	Самая верхняя непрерывная палуба
Стрингер	Горизонтальная балка, связывающая вертикальные рамные шпангоуты
Палубный стрингер	Примыкающий к борту пояс палубного настила
Надстройка	Конструкция, имеющая сверху палубу, расположенная на палубе надводного борта и протяженностью по ширине судна не менее 92 %
Второе дно	Горизонтальная обшивка, образующая дно грузового танка
Буксирный трос	Длинный канат, применяемый для буксировки судна
Транец	Конструктивное устройство и форма кормовой оконечности судна
Поперечная рама	Все поперечные элементы, входящие в поперечное сечение корпуса судна в районе флора двойного дна, вертикальной стенки и подпалубной поперечной балки
Рамный шпангоут	Основные поперечные балки, соединяющие продольные элементы судна
Триппинг бракет	Кница, применяемая для подкрепления конструктивного элемента против скручивающих усилий при сжатии
Твиндек	Палубы, расположенные между верхней палубой и вторым дном в грузовых танках
Высота незаполненной части цистерны	Параметр, представляющий незаполненное пространство в танке
Пустой отсек	Закрытое пустое пространство на судне
Отбойная переборка	Перфорированная или частичная переборка в танке

1	2
Водонепроницаемый	Означает способность предотвращать проникновение воды через конструкцию под давлением столба воды, на которое рассчитана конструкция
Открытая палуба	Палуба или часть палубы, подверженные воздействию погодных условий, имеющие брызгонепроницаемые устройства закрытия для всех люков и отверстий
Брызгонепроницаемый	Означает, что вода не проникнет внутрь судна при любых погодных условиях
Стенка	Часть подкрепляющего конструктивного элемента, установленная перпендикулярно к поверхности обшивки
Пояс в районе переменной ватерлинии	Пояс бортовой наружной обшивки корпуса судна между балластной ватерлинией и ватерлинией, соответствующей наибольшей осадке
Брашпиль	Механизм для выбирания и травления якорной цепи
Бортовый танк	Пространство, ограниченное продольной переборкой внутреннего корпуса и бортовой наружной обшивкой

2 Конструктивная идеализация

2.1 Определение пролета

2.1.1 Эффективный пролет элементов основного набора при изгибе

2.1.1.1 Эффективный пролет при изгибе ребра жесткости l_{bdg} определяется для типичных конструкций в *2.1.1.3 – 2.1.1.7*. Если конструкция отличается от конструкций, показанных на *рис. 4.2.1 – 4.2.8*, то определение пролета может быть рассмотрено специально.

2.1.1.2 Эффективный пролет при изгибе может быть уменьшен при наличии книц, если последние надежно подкреплены смежной конструкцией, в противном случае эффективный пролет при изгибе должен приниматься как полная длина ребра жесткости между главными несущими элементами.

2.1.1.3 Если ребро жесткости, подкрепляющее стенку балки, срезано на ус с одного конца или не прикреплено к рассматриваемому ребру жесткости, то эффективный пролет при изгибе должен приниматься как полная длина между главными несущими элементами, если не установлена подкрепляющая кница с другой стороны балки – см. *рис. 4.2.2*.

2.1.1.4 Эффективный пролет при изгибе может быть уменьшен только в случае, когда кницы соединены с фланцем или свободной кромкой ребра жесткости. Кницы, установленные на присоединенной обшивке на стороне, противоположной ребру жесткости, не должны приниматься во внимание при уменьшении эффективного пролета при изгибе.

2.1.1.5 Эффективный пролет при изгибе l_{bdg} для ребер жесткости, образующих часть конструкции двойной обшивки, должен приниматься согласно *рис. 4.2.1*.

2.1.1.6 Эффективный пролет при изгибе l_{bdg} для ребер жесткости, образующих часть конструкции одинарной обшивки, должен приниматься согласно *рис. 4.2.2*.

2.1.1.7 Для ребер жесткости, подкрепленных кницей с одной стороны главных несущих элементов, эффективный пролет при изгибе должен приниматься как полное расстояние между главными несущими элементами согласно *рис. 4.2.2(а)*. Если кницы установлены с обеих сторон главного несущего элемента, то эффективный пролет при изгибе должен приниматься согласно *рис. 4.2.2(б)*, *(в)* и *(г)*.

Рис. 4.2.1
Эффективный пролет при изгибе ребер жесткости с подкреплениями стенок (конструкция двойной обшивки)

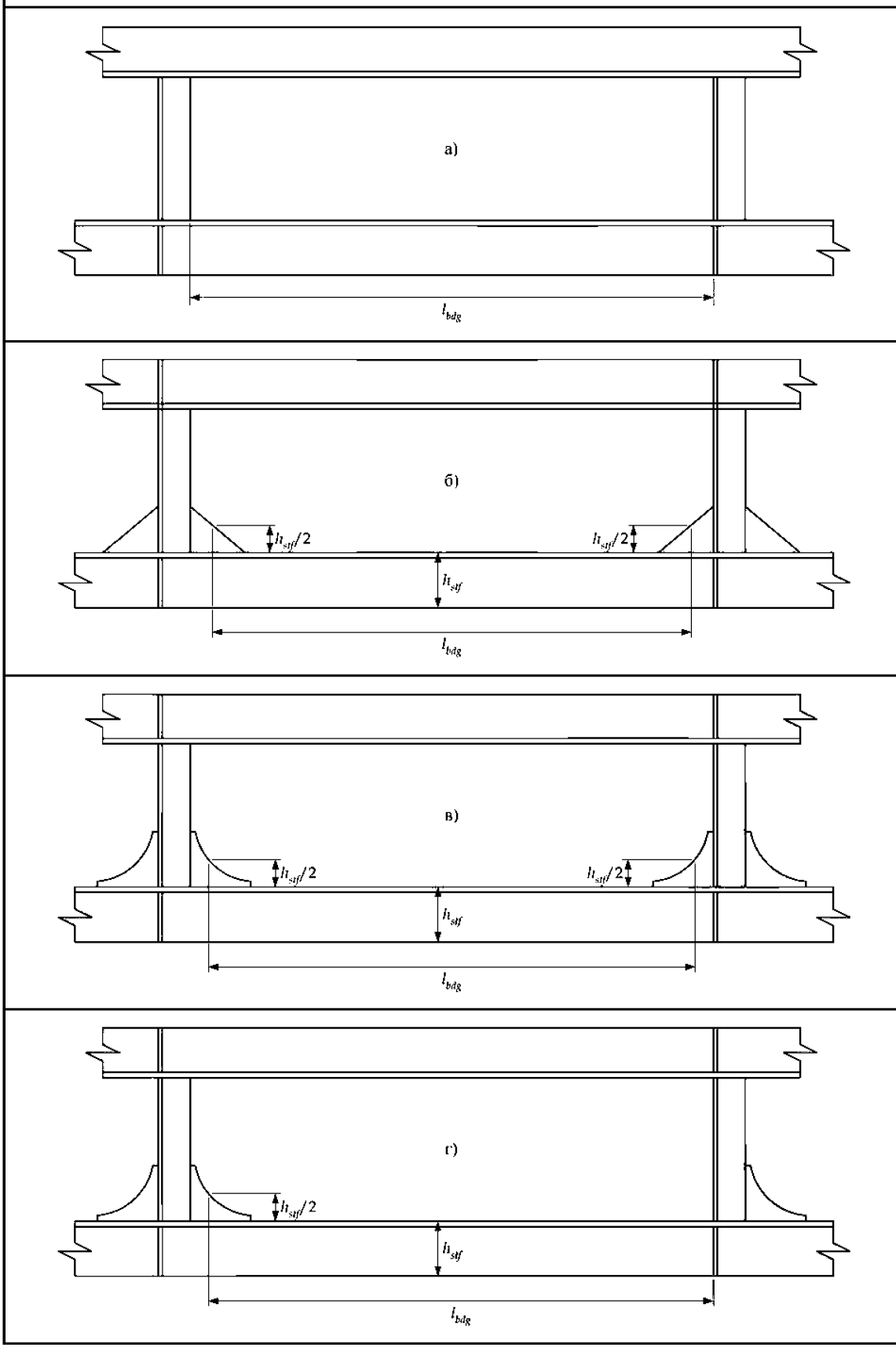
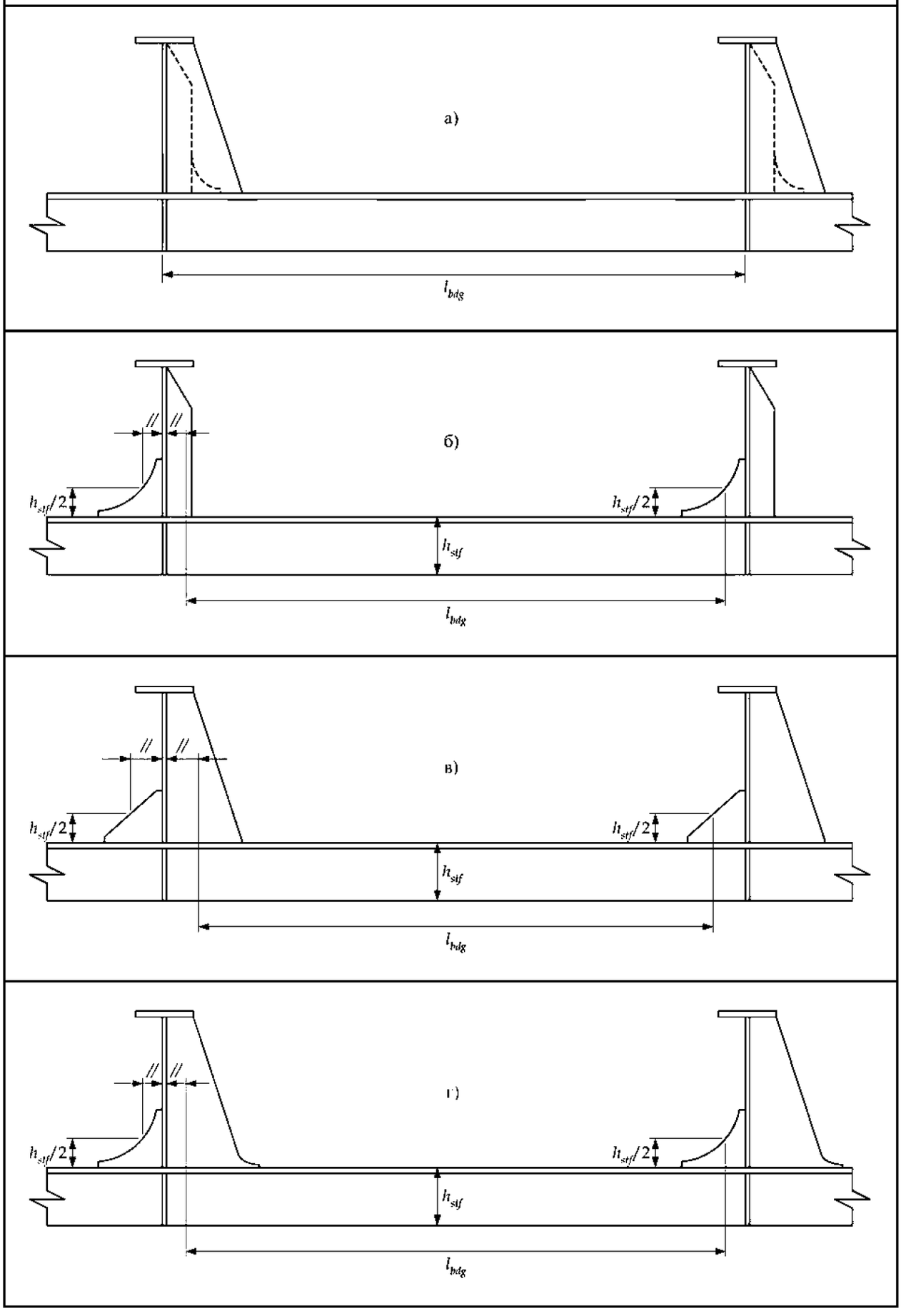
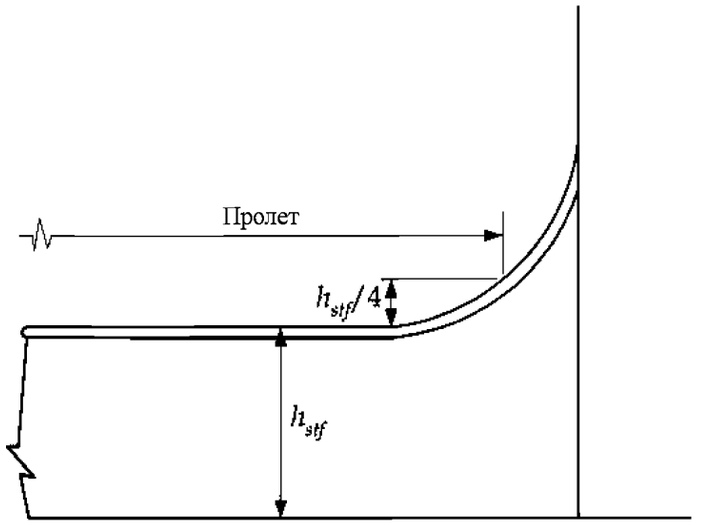


Рис. 4.2.2
Эффективный пролет при изгибе ребер жесткости с подкреплениями стенок (конструкция одинарной обшивки)



2.1.1.8 Если свободный поясок ребра жесткости непрерывен вдоль кромки кницы, то эффективный пролет при изгибе должен приниматься до места, где высота кницы равна четверти высоты ребра жесткости – см. *рис. 4.2.3*.

Рис. 4.2.3
Эффективный пролет при изгибе для элементов основного набора, имеющих непрерывный свободный поясок вдоль кромки кницы



2.1.1.9 Для расчета границы пролета длина кницы не должна приниматься более чем 1,5 длины стороны кницы на переборке или основании.

2.1.2 Эффективный пролет элементов основного набора при срезе

2.1.2.1 Эффективный пролет при срезе l_{shr} ребра жесткости определяется для типичных конструкций в *2.1.2.5 – 2.1.2.7*. Эффективный пролет при срезе для других конструкций будет рассмотрен отдельно.

2.1.2.2 Эффективный пролет при срезе может быть уменьшен при наличии книц, если последние надежно подкреплены смежной конструкцией, в противном случае эффективный пролет при срезе должен приниматься как полная длина согласно *2.1.2.4*.

2.1.2.3 Эффективный пролет при срезе может быть уменьшен для книц, установленных на фланце или на свободной кромке ребра жесткости, или для книц, установленных на присоединенной обшивке, на стороне противоположной ребру жесткости. Если кницы установлены как на фланце или свободной кромке ребра жесткости, так и на присоединенной обшивке, на стороне противоположной ребру жесткости, то эффективный пролет при срезе может рассчитываться с использованием более длинной стороны эффективной кницы.

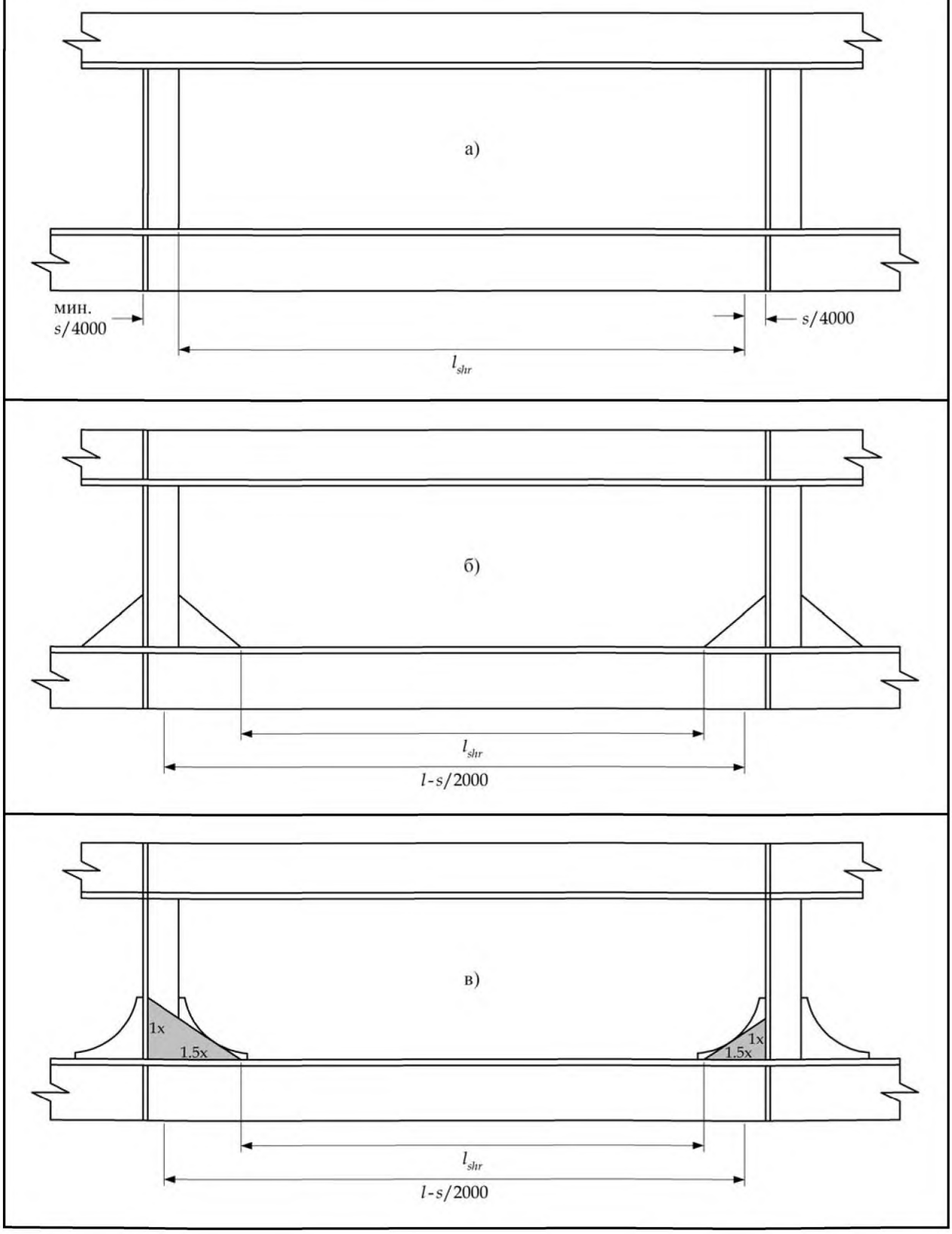
2.1.2.4 Эффективный пролет при срезе может быть уменьшен как минимум на s/4000 м с каждого конца элемента независимо от конструкции опоры. Следовательно, эффективный пролет при срезе l_{shr} не должен приниматься больше чем:

$$l_{shr} \le l - \frac{s}{2000} \text{ м},$$

где l полная длина ребра жесткости между главными несущими элементами, м;
s шпация ребра жесткости согласно *2.2.1*, мм.

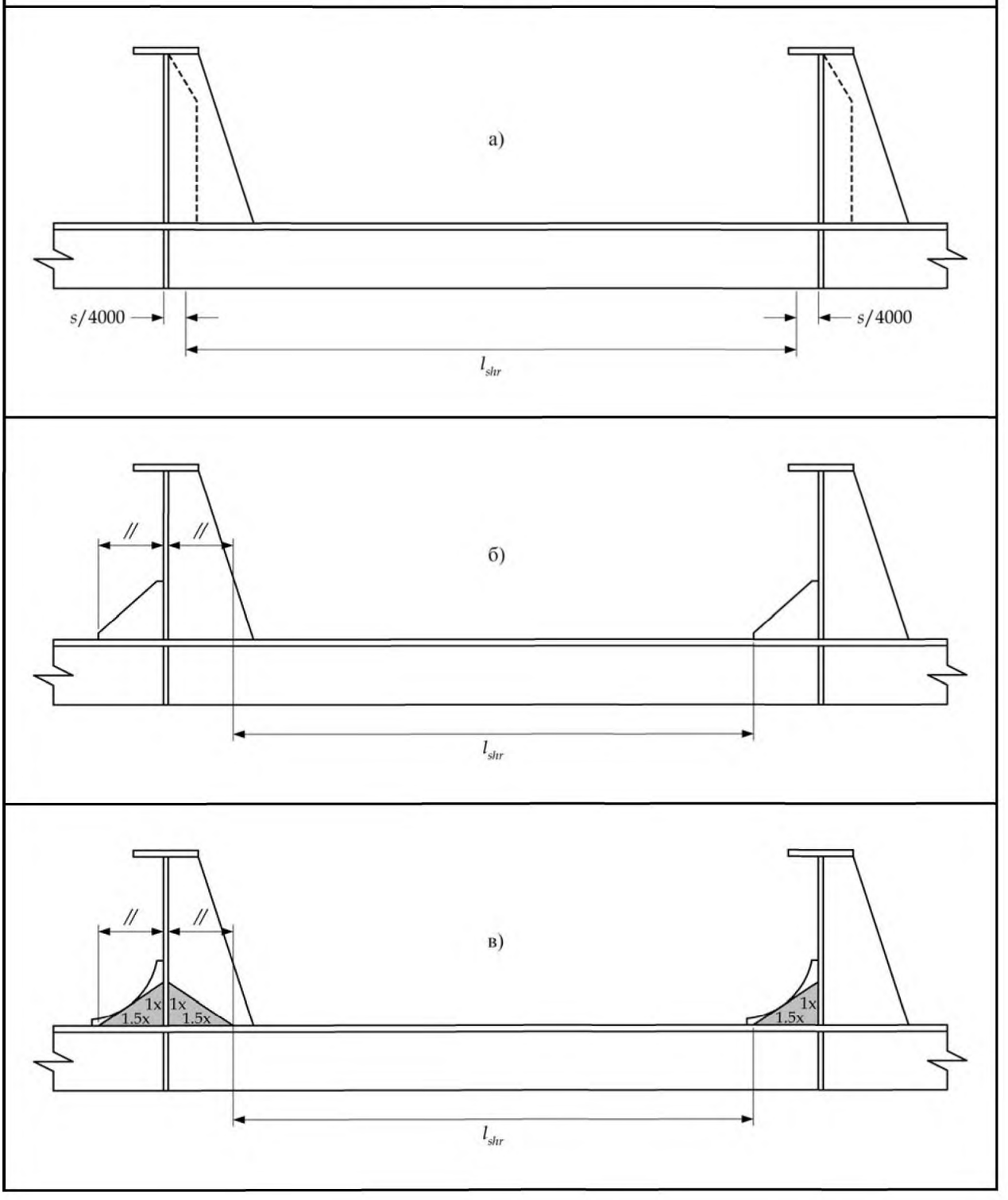
2.1.2.5 Эффективный пролет при срезе l_{shr} для ребер жесткости, образующих часть конструкции двойной обшивки, должен приниматься согласно *рис. 4.2.4*.

Рис. 4.2.4
Эффективный пролет при срезе ребер жесткости с подкреплениями стенок (конструкция двойной обшивки)



2.1.2.6 Эффективный пролет при срезе l_{shr} для ребер жесткости, образующих часть конструкции одинарной обшивки, должен приниматься согласно *рис. 4.2.5*.

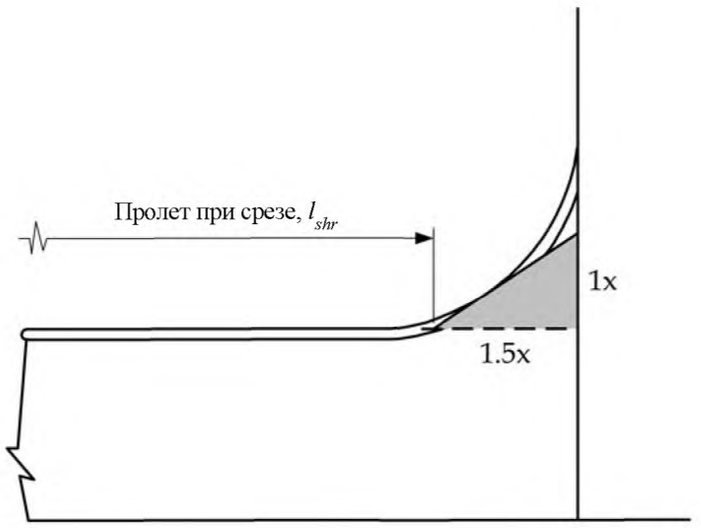
Рис. 4.2.5
Эффективный пролет при срезе ребер жесткости с подкреплениями стенок (конструкция одинарной обшивки)



2.1.2.7 Если свободный поясок ребра жесткости непрерывен вдоль криволинейной кромки кницы, то эффективный пролет при срезе должен приниматься согласно *рис. 4.2.6*.

2.1.2.8 Для криволинейных и/или длинных (большое соотношение длина/высота) книц длина эффективной кницы должна приниматься как для максимальной вписанной кницы с соотношением сторон 1:1,5 согласно *рис. 4.2.4(в)* и *4.2.5(в)*.

Рис. 4.2.6
Эффективный пролет при срезе для элементов основного набора, имеющих непрерывный свободный поясок вдоль кромки кницы



2.1.3 Влияние формы обводов корпуса на пролет элементов основного набора

2.1.3.1 Полная длина ребра жесткости между главными несущими элементами l должна измеряться вдоль фланца для ребер жесткости с фланцем и вдоль свободной кромки для ребер жесткости из полосы. Для криволинейных ребер жесткости пролет определяется как длина хорды между концами пролета. Расчет эффективного пролета должен выполняться согласно требованиям *2.1.1*.

2.1.4 Эффективный пролет главных несущих элементов при изгибе

2.1.4.1 Эффективный пролет главного несущего элемента при изгибе l_{bdg} может приниматься меньше полной длины элемента между опорами при условии установки соответствующих концевых книц.

2.1.4.2 Для конструкций, где свободный поясок главного несущего элемента не продолжается непрерывно вдоль кромки кницы, т.е. кница приварена к главному несущему элементу, граница пролета в каждом конце элемента, между которыми измеряется эффективный пролет при изгибе, должна приниматься в точке, где высота концевой кницы, измеренная от свободного пояска элемента, равна половине высоты элемента – см. *рис. 4.2.7(б)*. Эффективная кница, принимаемая для определения границы пролета, должна определяться согласно *2.1.4.4*.

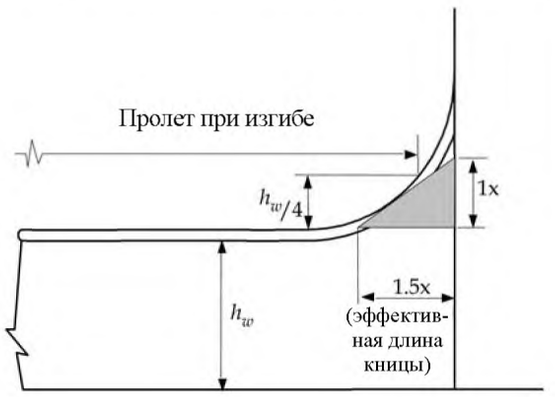
2.1.4.3 Для книц, в которых свободный поясок главного несущего элемента продолжается непрерывно вдоль кромки кницы, т.е. кница является неотъемлемой частью главного несущего элемента, граница пролета должна приниматься в точке, где высота кницы равна одной четверти высоты элемента – см. *рис. 4.2.7(а)*, *(в)* и *(г)*. Эффективная кница, принимаемая для определения границы пролета, должна определяться согласно *2.1.4.4*.

2.1.4.4 Эффективная кница определяется как треугольная кница наибольшего размера с отношением длины к высоте равным 1,5, которая наилучшим образом вписывается как установленная кница; для криволинейных книц для пригонки используется точка касания – см. примеры на *рис. 4.2.7*.

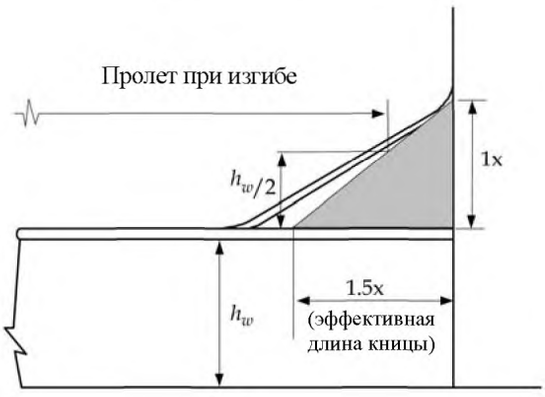
2.1.4.5 Для прямолинейных книц с отношением длины к высоте свыше 1,5, граница пролета должна приниматься до эффективной кницы, для книц повышенной крутизны – до установленной кницы.

Рис. 4.2.7
Эффективный пролет главного несущего элемента для оценки изгиба

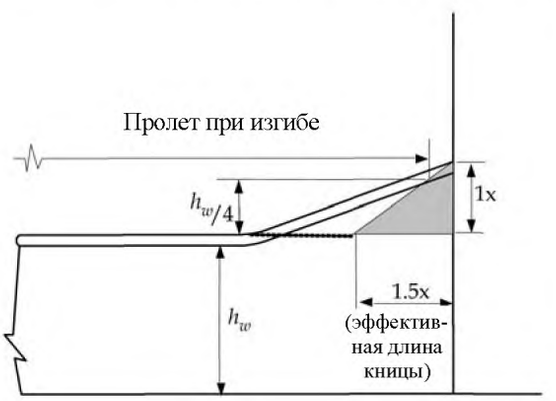
а) Кница как часть балки
с непрерывным криволинейным свободным пояском



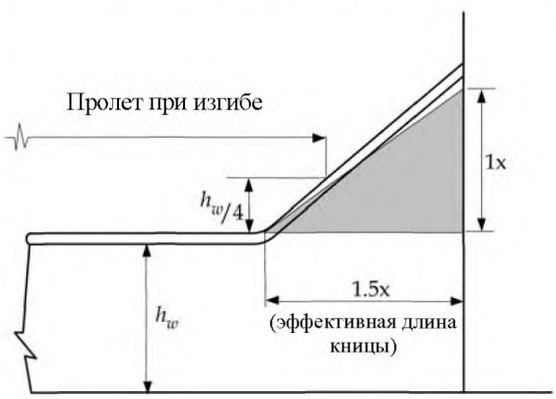
б) Отдельная приваренная кница



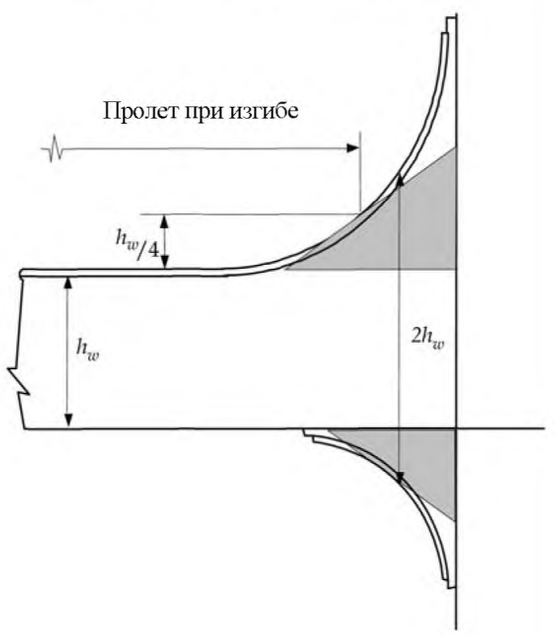
в) Прямолинейная кница как часть балки с непрерывным свободным пояском – отношение длины к высоте > 1,5



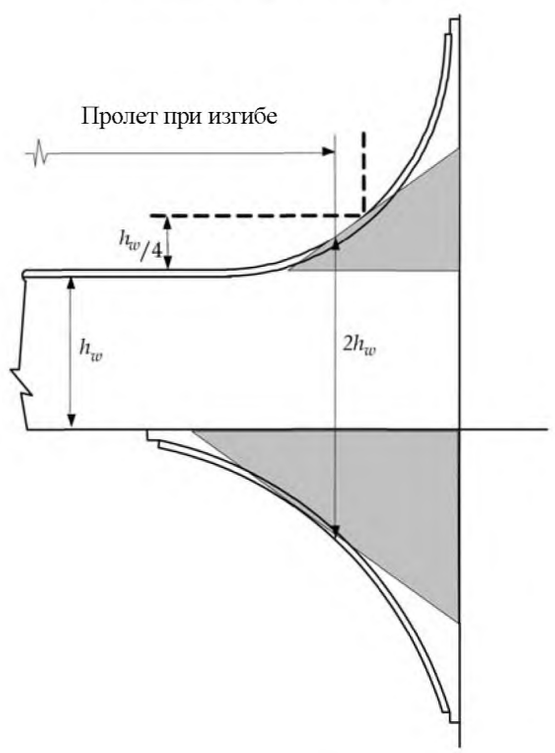
г) Прямолинейная кница как часть балки с непрерывным свободным пояском – отношение длины к высоте < 1,5



д) Небольшая подкрепляющая кница



е) Большая подкрепляющая кница



2.1.4.6 Для криволинейных книц граница пролета должна измеряться до точки на установленной книце выше точки касания установленной и эффективной книц. Для длин пролета ниже точки касания граница пролета должна измеряться до эффективной кницы.

2.1.4.7 Для конструкций, в которых свободный поясок главного несущего элемента продолжается вдоль кромки кницы, и имеется кница с другой стороны элемента, нет необходимости принимать границу пролета далее точки, где общая высота достигает двукратной высоты главного несущего элемента. Конструкции с небольшими и большими поддерживающими кницами показаны на *рис. 4.2.7(д)* и *(е)*.

2.1.4.8 Для конструкций, в которых высота главного несущего элемента неизменна и ширина полки увеличивается в направлении опоры, эффективный пролет при изгибе может приниматься до точки, где ширина свободного пояска достигает двукратного номинального значения.

2.1.5 Эффективный пролет главных несущих элементов при срезе

2.1.5.1 Граница пролета в каждом конце главного несущего элемента, между которыми измеряется пролет при срезе, должна приниматься на конце эффективных книц, подкрепляющих элемент, если концы эффективных книц такие, как показаны на *рис. 4.2.8*. Эффективная кница, применяемая для определения конца, приведена в *2.1.4.4*.

2.1.5.2 Для конструкций, в которых эффективная подкрепляющая кница больше чем эффективная кница в районе свободного пояска, пролет при срезе должен приниматься как среднее расстояние между концами эффективных книц – см. *рис. 4.2.8(е)*.

2.2 Определение шпации и ширины приложения нагрузки

2.2.1 Ширина приложения нагрузки на элементы основного набора

2.2.1.1 Для расчета эффективного плоского фланца ребер жесткости и ширины нагрузки, приложенной к ребру жесткости, должно использоваться среднее значение шпаций s с каждой стороны ребра жесткости – см. *рис. 4.2.9*.

2.2.2 Шпация и ширина приложения нагрузки на главные несущие элементы

2.2.2.1 Шпация главного несущего элемента S для расчета эффективного плоского фланца главных несущих элементов должна приниматься как среднее значение шпации между смежными главными несущими элементами – см. *рис. 4.2.9*.

2.2.2.2 Если специально не установлено в Правилах, ширина нагружения балки определяется как половина суммы шпаций главного несущего элемента с каждой стороны – см. *рис. 4.2.9*.

2.2.3 Эффективная шпация криволинейной обшивки

2.2.3.1 Для криволинейной обшивки шпация ребра жесткости, s или S, измеряется на средней хорде между элементами.

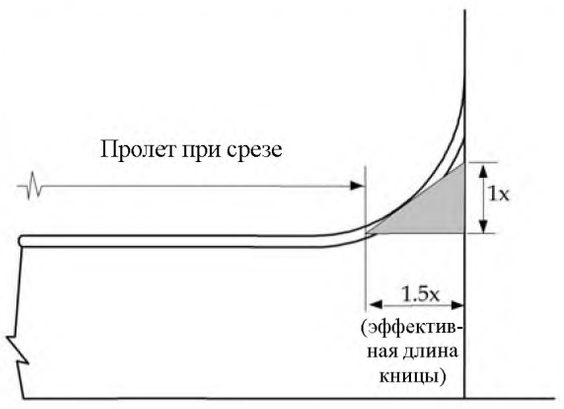
2.3 Эффективная ширина обшивки

2.3.1 Эффективная ширина присоединенной обшивки элементов основного набора для оценки прочности

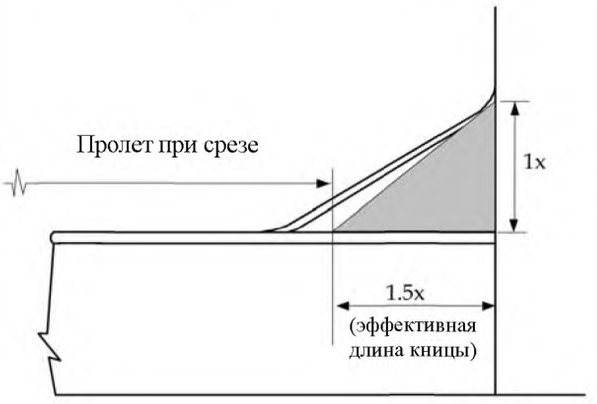
2.3.1.1 Эффективная ширина согласно *2.3.1.2* применима к требованиям к размерам связей ребер жесткости согласно *разделу 8*.

Рис. 4.2.8
Эффективный пролет главного несущего элемента для оценки среза

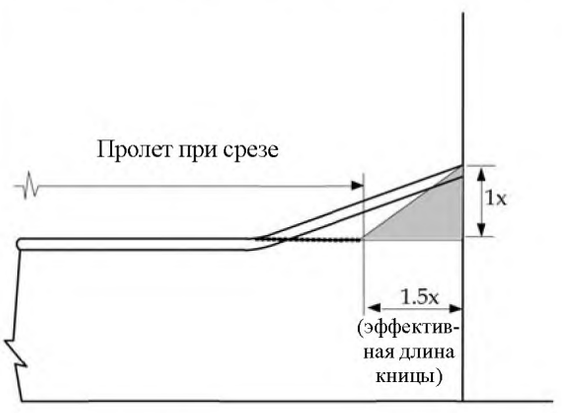
а) Кница как часть балки
с непрерывным криволинейным свободным пояском



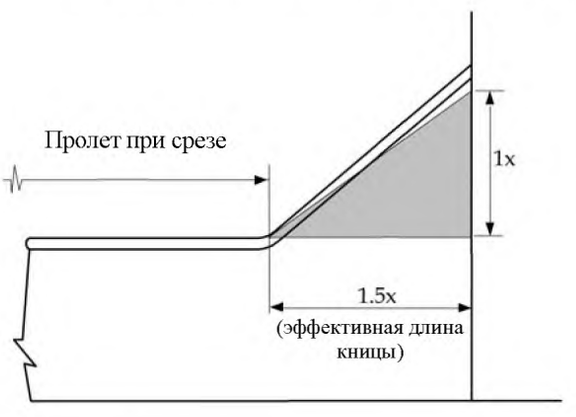
б) Отдельная приваренная кница



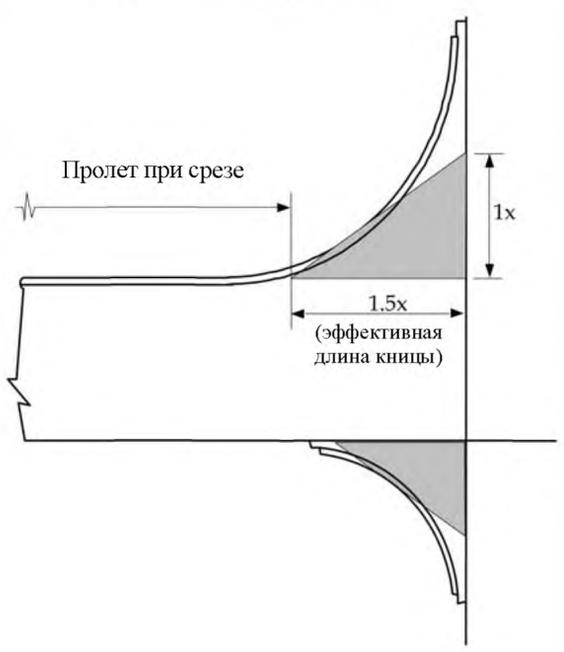
в) Прямолинейная кница как часть балки с непрерывным свободным пояском – отношение длины к высоте > 1,5



г) Прямолинейная кница как часть балки с непрерывным свободным пояском – отношение длины к высоте < 1,5



д) Небольшая подкрепляющая кница



е) Большая подкрепляющая кница

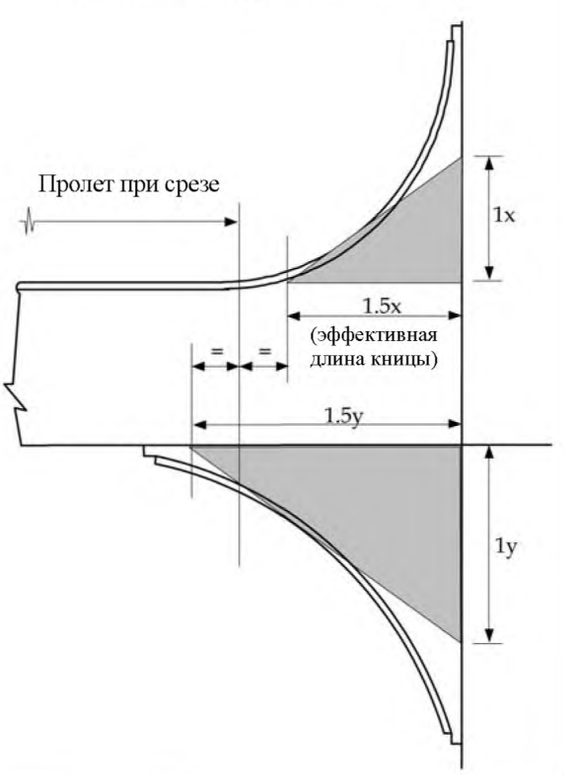
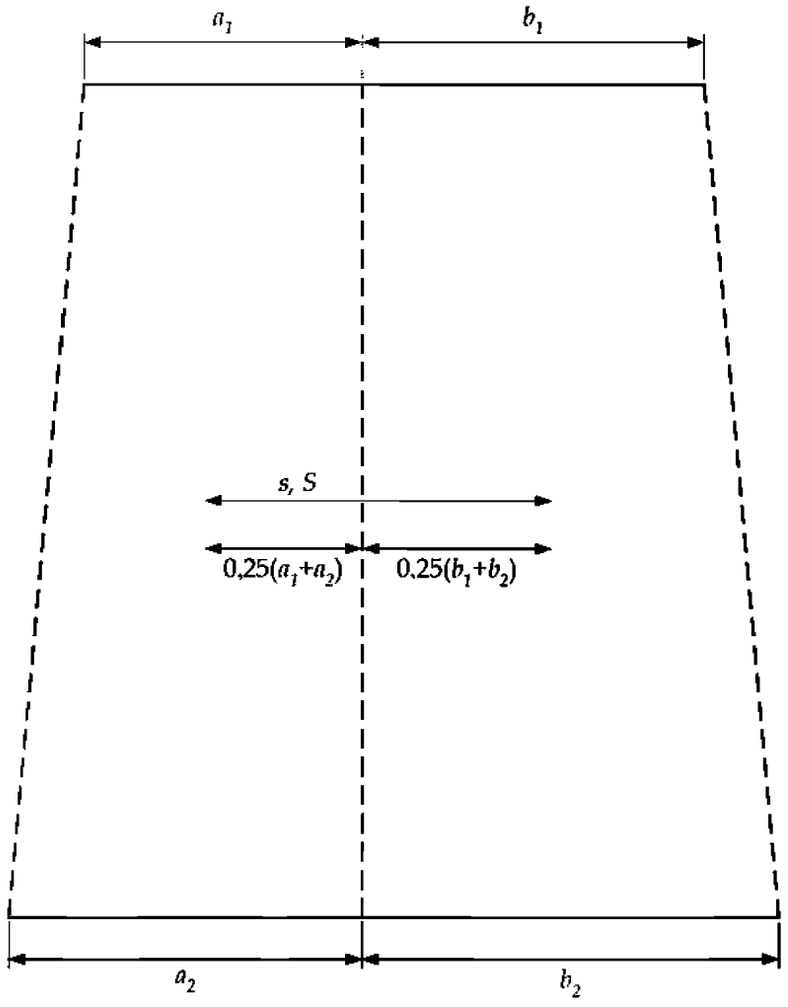


Рис. 4.2.9
Ширина приложения нагрузки и ширина присоединенной обшивки для элементов основного набора и главных несущих элементов



Примечание

1. Среднее значение ширины принимается как $0{,}25(a_1 + a_2 + b_1 + b_2)$, где a_1, a_2, b_1, b_2 – шпации элементов основного набора и главных несущих элементов по их концам, соответственно.

2.3.1.2 Эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff}, применяемая для расчета общего момента сопротивления ребра жесткости и присоединенной обшивки, должна приниматься как среднее значение шпации ребра жесткости s согласно *2.2.1*. Однако, если толщина нетто присоединенной обшивки $t_{p\text{-}net}$ меньше 8 мм, то эффективная ширина не должна приниматься более 600 мм.

2.3.2 Эффективная ширина присоединенной обшивки и фланцев главных несущих элементов для оценки прочности

2.3.2.1 Эффективные значения ширины согласно *2.3.2.2 – 2.3.2.4* применимы к требованиям к размерам главных несущих элементов согласно *разделу 8*.

2.3.2.2 В конце пролета, если отсутствует эффективная концевая кница, эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff} для расчета момента сопротивления главного несущего элемента должна приниматься как:

$$b_{eff} = 0{,}67 S \sin\left[\frac{\pi}{6}\left(\frac{l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2S}\right)\right] \text{ м} \quad \text{при} \left(\frac{l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2S}\right) \le 3;$$

$$b_{eff} = 0{,}67 S \text{ м} \qquad \text{при} \left(\frac{l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2S}\right) > 3,$$

где S среднее значение шпации главного несущего элемента согласно *2.2.2* в рассматриваемом месте, м;
l_{bdg} эффективный пролет при изгибе согласно *2.1.4*, м.

Примечание
Sin ( ) должен рассчитываться в радианах.

2.3.2.3 В середине пролета эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff} для расчета момента сопротивления главного несущего элемента должна приниматься как:

$$b_{eff} = S \sin\left[\frac{\pi}{6}\left(\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}\right)\right] \text{ м} \quad \text{при} \left(\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}\right) \le 9;$$

$$b_{eff} = 1{,}0 S \text{ м} \qquad \text{при} \left(\frac{l_{bdg}}{S\sqrt{3}}\right) > 9,$$

где S среднее значение шпации главного несущего элемента согласно *2.2.2* в рассматриваемом месте, м;
l_{bdg} эффективный пролет при изгибе согласно *2.1.4*, м.

Примечание
Sin ( ) должен рассчитываться в радианах.

2.3.2.4 В конце пролета, если установлена эффективная концевая кница, эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff} для расчета момента сопротивления главного несущего элемента должна приниматься как средние значения величин, приведенных в *2.3.2.2* и *2.3.2.3*. Кница считается эффективной, когда длина, согласно *рис. 4.2.7*, равна или более $0{,}1 l_{bdg}$.

2.3.2.5 Свободный фланец главных несущих элементов для одинарной обшивки может обычно считается эффективным, если установлены триппинг бракеты, как требуется в *разделе 10/2.3.3*. Для криволинейных свободных поясков – см. *2.3.4*.

2.3.3 Эффективная ширина присоединенной обшивки элементов основного набора для оценки усталостной прочности

2.3.3.1 Эффективные значения ширины согласно *2.3.3.2* и *2.3.3.3* применимы к оценке усталостной прочности элементов основного набора согласно *разделу 9/3* и *приложению С*.

2.3.3.2 По концам пролета и в районе концевых книц и опор эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff}, используемая для расчета общего момента сопротивления ребра жесткости и присоединенной обшивки, должна приниматься как:

$$b_{eff} = 0{,}67 s \sin\left[\frac{\pi}{6}\left(\frac{1000\, l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2s}\right)\right] \text{ мм} \quad \text{при} \left(\frac{1000\, l_{bdg}(1-\frac{1}{\sqrt{3}})}{2s}\right) \le 3;$$

$$b_{eff} = 0{,}67\,s \quad \text{мм} \qquad \text{при} \left(\frac{1000\,l_{bdg}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)}{2s} \right) > 3,$$

где s шпация ребра жесткости согласно *2.2.1*, мм;
l_{bdg} эффективный пролет при изгибе согласно *2.1.1*, м.

Примечание
Sin ( ) должен рассчитываться в радианах.

2.3.3.3 В середине пролета эффективная ширина присоединенной обшивки b_{eff} для расчета общего момента сопротивления ребра жесткости и присоединенной обшивки должна приниматься как:

$$b_{eff} = s \sin\left[\frac{\pi}{6}\left(\frac{1000\,l_{bdg}}{s\sqrt{3}}\right)\right] \quad \text{мм} \quad \text{при} \left(\frac{1000\,l_{bdg}}{s\sqrt{3}}\right) \le 9;$$

$$b_{eff} = 1{,}0\,s \quad \text{мм} \qquad \text{при} \left(\frac{1000\,l_{bdg}}{s\sqrt{3}}\right) > 9,$$

где s шпация ребра жесткости согласно *2.2.1*, мм;
l_{bdg} эффективный пролет при изгибе согласно *2.1.1*, м.

Примечание
Sin ( ) должен рассчитываться в радианах.

2.3.4 Эффективная площадь криволинейных свободных поясков или присоединенной обшивки главных несущих элементов

2.3.4.1 Эффективная площадь согласно *2.3.4.2* и *2.3.4.3* применима к главным несущим элементам следующим образом:

а) при получении эффективной площади нетто криволинейных свободных поясков и присоединенной обшивки для расчета момента сопротивления главных несущих элементов для требований к размерам связей корпуса судна в *разделе 8*;
б) при получении эффективной площади нетто криволинейных свободных поясков, используя модели элементов балки, для оценки прочности (методом конечных элементов) в *разделе 9/2* и *приложении В*.

2.3.4.2 Эффективная площадь нетто криволинейных свободных поясков или присоединенной обшивки главных несущих элементов $A_{eff\text{-}net50}$ должна приниматься как:

$$A_{eff\text{-}net50} = C_f t_{f\text{-}net50} b_f \quad \text{мм}^2,$$

где C_f коэффициент эффективности фланца согласно *рис. 4.2.10*

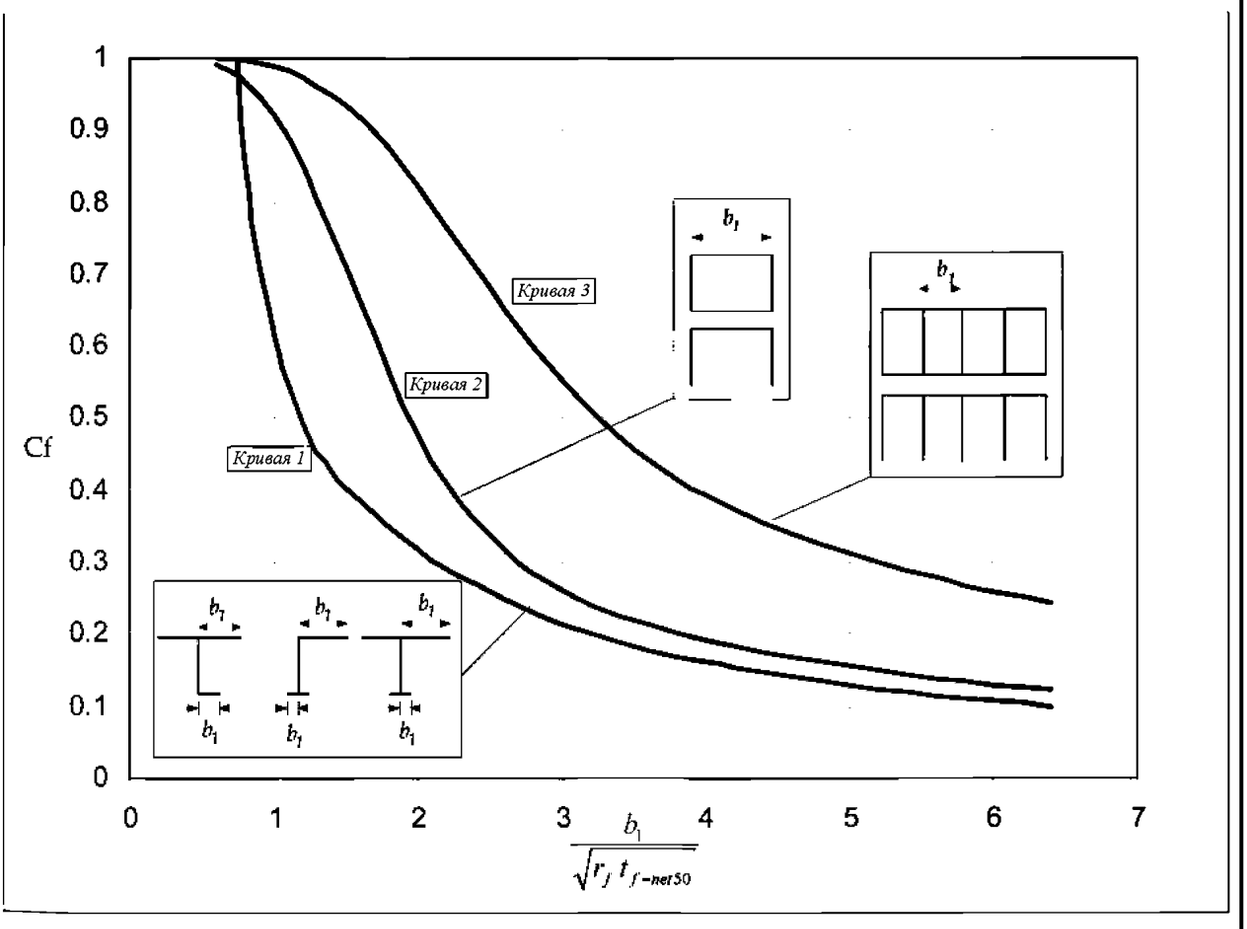
$= C_{fl} \dfrac{\sqrt{r_f t_{f\text{-}net50}}}{b_1}$, но не должен приниматься более 1,0;

$C_{fl} = \dfrac{0{,}643\,(\sinh\beta\cosh\beta + \sin\beta\cos\beta)}{\sinh^2\beta + \sin^2\beta}$ для симметричного и несимметричного свободных поясков – см. *кривую 1* на *рис. 4.2.10*;

$= \dfrac{0{,}78\,(\sinh\beta\sin\beta)(\cosh\beta - \cos\beta)}{\sinh^2\beta + \sin^2\beta}$ для присоединенной обшивки балок коробчатого сечения с двумя стенками – см. *кривую 2* на *рис. 4.2.10*;

$= \dfrac{1{,}56\,(\cosh\beta - \cos\beta)}{\sinh\beta + \sin\beta}$ для присоединенной обшивки балок коробчатого сечения с многочисленными стенками – см. *кривую 3* на *рис. 4.2.10*;

Рис. 4.2.10
Эффективная ширина криволинейных свободных поясков для альтернативных конструктивных решений



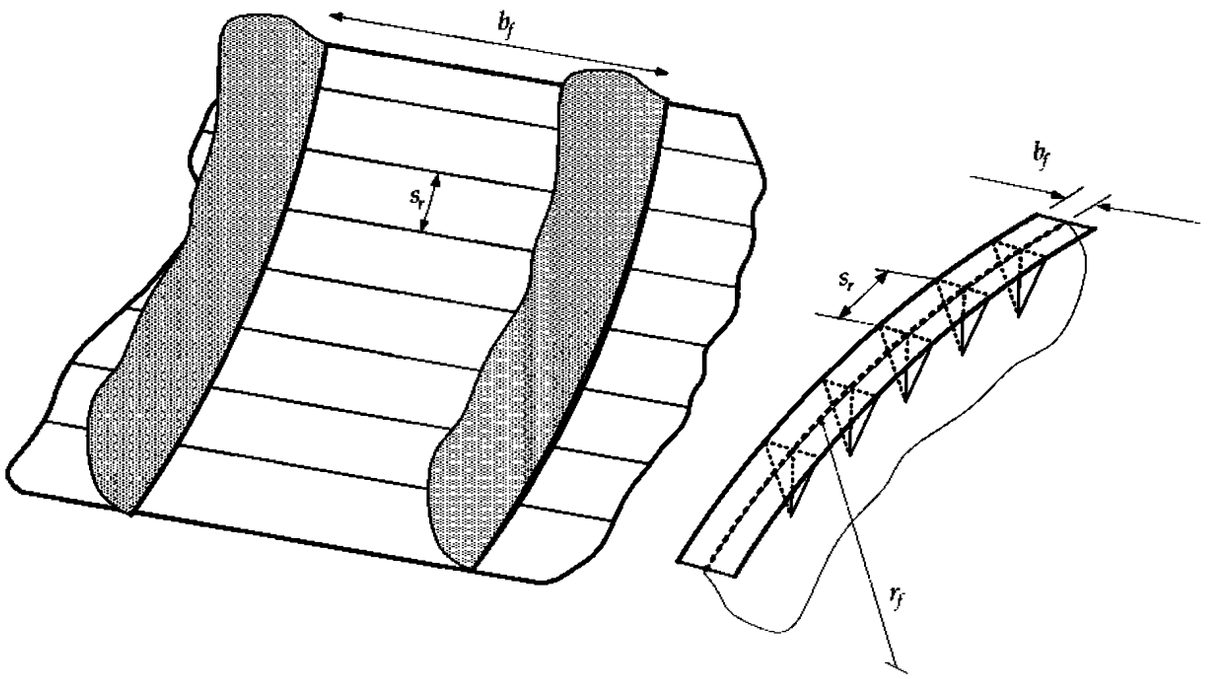
$$\beta = \frac{1{,}285\, b_1}{\sqrt{r_f t_{f\text{–}net50}}} \text{ рад;}$$

$b_1 = 0{,}5\,(b_f - t_{w\text{-}net50})$ для симметричных свободных поясков;
$= b_f$ для несимметричных свободных поясков;
$= s_w - t_{w\text{-}net50}$ для присоединенной обшивки коробчатых балок;
s_w шпация подкрепляющих стенок для коробчатых балок, мм;
$t_{f\text{-}net50}$ толщина нетто фланца
$= t_{f\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм,
при расчете C_f и β для несимметричных свободных поясков $t_{f\text{-}net50}$ не должна приниматься больше чем $t_{w\text{-}net50}$;
$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина фланца, мм;
$t_{w\text{-}net50}$ толщина нетто стенки,
$= t_{w\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм;
$t_{w\text{-}grs}$ полная толщина стенки, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*;
r_f радиус криволинейного свободного пояска или присоединенной обшивки, мм;
b_f ширина свободного пояска или присоединенной обшивки, мм.

2.3.4.3 Эффективная площадь нетто криволинейных свободных поясков, поддерживаемых радиальными кницами, или присоединенной обшивки, поддерживаемой цилиндрическими ребрами жесткости, $A_{eff\text{-}net50}$ определяется по формуле:

$$A_{eff\text{-}net50} = \left(\frac{3 r_f t_{f\text{–}net50} + C_f s_r^2}{3 r_f t_{f\text{–}net50} + s_r^2} \right) t_{f\text{–}net50}\, b_f \quad \text{мм}^2,$$

Рис. 4.2.11
Криволинейные секция обшивки и свободный поясок



где C_f см. *2.3.4.2*;
$t_{f\text{-}net50}$ толщина нетто фланца согласно *2.3.4.2*;
s_r шпация триппинг бракет или подкреплений стенок, или ребер жесткости, нормальных к поверхности стенки, мм – см. *рис. 4.2.11*;
b_f ширина свободного пояска или присоединенной обшивки, мм – см. *рис. 4.2.11*;
r_f радиус криволинейного свободного пояска или присоединенной обшивки, мм – см. *рис. 4.2.11*.

2.3.4.4 Эффективная площадь согласно *2.3.4.2* и *2.3.4.3* применима только к свободным пояскам и присоединенной обшивке главных несущих элементов. Это не должно применяться к площади подкреплений стенок, параллельных свободному пояску.

2.4 Геометрические характеристики элементов основного набора

2.4.1 Расчет характеристик площади сечения нетто для элементов основного набора

2.4.1.1 Момент сопротивления сечения нетто и характеристики площади сдвига элементов основного набора должны рассчитываться с использованием толщины нетто свободного пояска, стенки и фланца.

2.4.1.2 Описание размеров нетто для типичных профилей представлено на *рис. 4.2.12*.

Рис. 4.2.12
Характеристики сечения нетто элементов основного набора

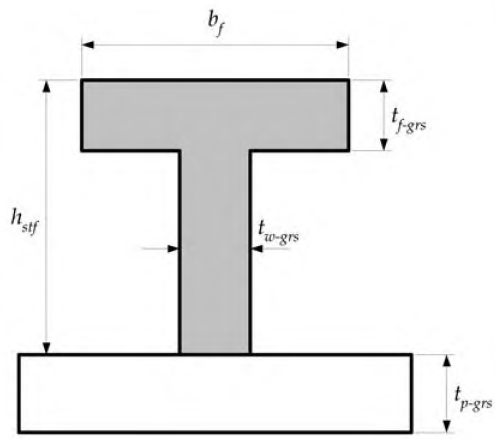
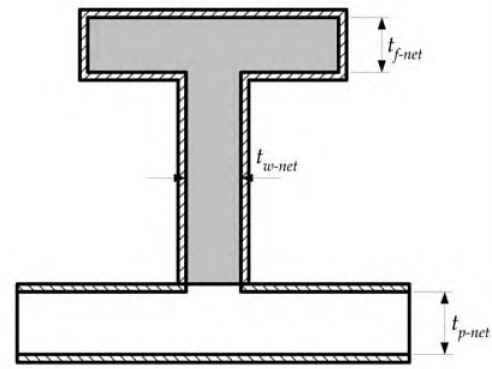
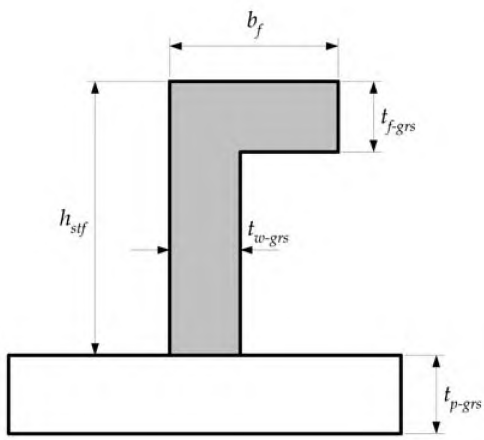
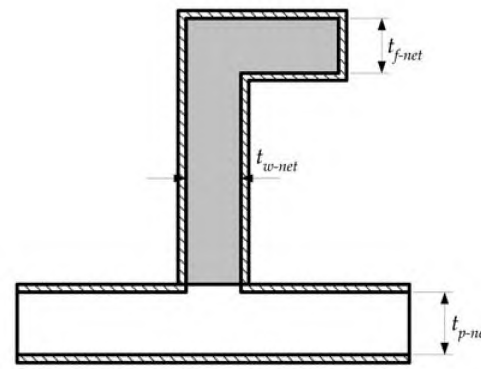
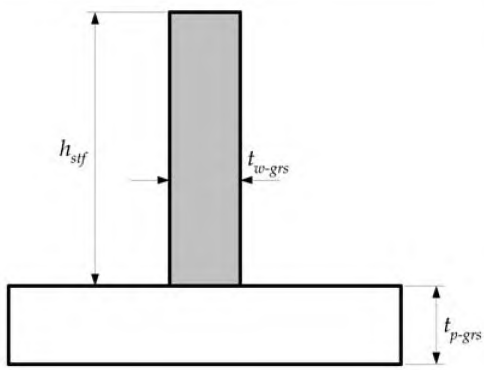
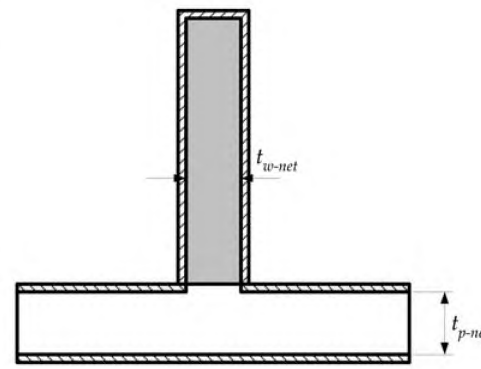
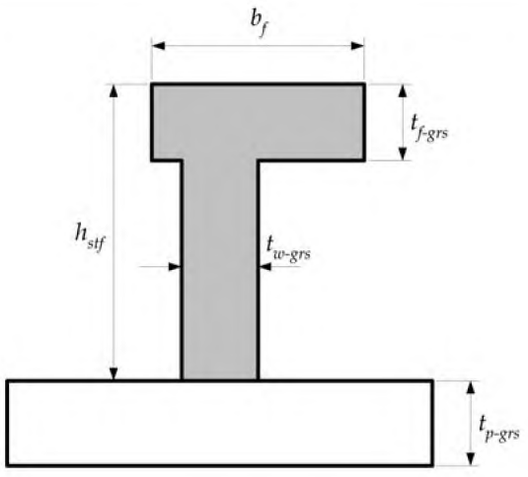
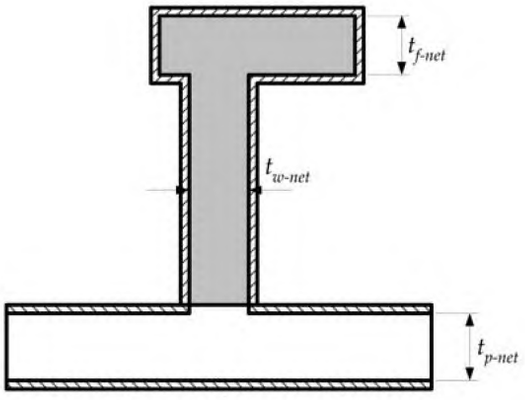
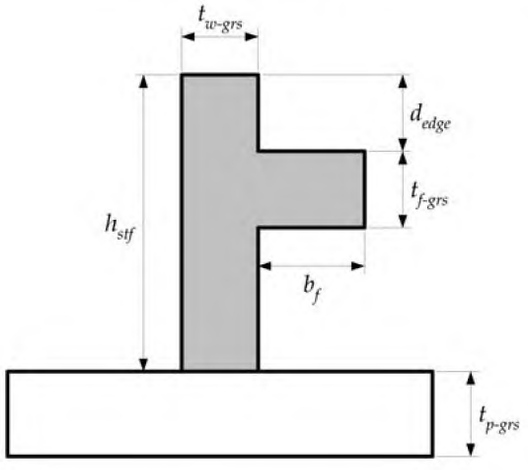
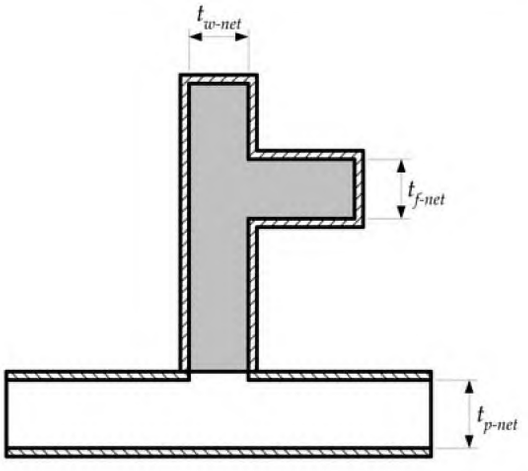
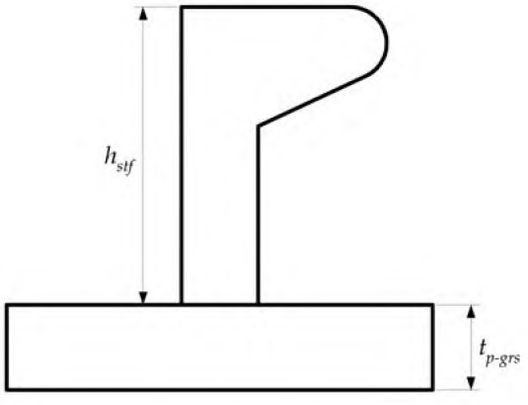
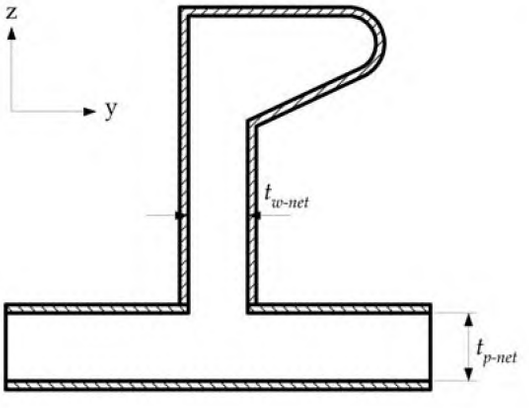
Профиль	Методология редуцирования Элементы основного набора
 Тавровый профиль	
 Угловой профиль	
 Полосовой профиль	

Рис. 4.2.12 (продолжение)
Характеристики сечения нетто элементов основного набора

Профиль	Методология редуцирования Элементы основного набора
 Угловой профиль 2	
 Угловой профиль 3	
 Полособульб и аналогичные профили	 Площадь поперечного сечения нетто, момент инерции относительно оси *y* и соответствующее положение нейтральной оси профиля должны определяться, исходя из предположения, что поверхность сечения профиля уменьшена на величину коррозии 0,5 t_{corr} – см. *2.4.1.3*

2.4.1.3 Объединенные характеристики нетто голландского и японского полособульбов с присоединенным плоским фланцем должны определяться на основе характеристик сечения нетто профиля (см. *2.4.1.4*), которые затем добавляются к присоединенному плоскому фланцу.

2.4.1.4 Характеристики сечения нетто полособульба без присоединенной обшивки должны приниматься следующим образом:

а) площадь поперечного сечения нетто полособульба $A_{bulb\text{-}net}$ должна приниматься как:
$A_{bulb\text{-}net} = A_{bulb\text{-}grs} - \Delta A_{bulb\text{-}grs}\, t_{corr}$ мм²;

б) положение нейтральной оси полособульба нетто $NA_{bulb\text{-}net}$ должно приниматься как:
$NA_{bulb\text{-}net} \cong NA_{bulb\text{-}grs}$ мм;

в) момент инерции нетто полособульба $I_{bulb\text{-}net}$ должен приниматься как:
$I_{bulb\text{-}net} = I_{bulb\text{-}grs} - \Delta I_{bulb\text{-}grs}\, t_{corr}$ см⁴,

где $\Delta A_{bulb\text{-}grs}$ согласно *табл. 4.2.1* и *табл. 4.2.2* для рассматриваемой высоты профиля, мм²;
$\Delta I_{bulb\text{-}grs}$ согласно *табл. 4.2.1* и *табл. 4.2.2* для рассматриваемой высоты профиля, см⁴;
$A_{bulb\text{-}grs}$ площадь поперечного сечения рассматриваемого полособульба номинальной высоты и полной номинальной толщины стенки, мм²;
$I_{bulb\text{-}grs}$ момент инерции рассматриваемого полособульба номинальной высоты и полной номинальной толщины стенки, см⁴;
$NA_{bulb\text{-}grs}$ положение нейтральной оси над нижней кромкой стенки для рассматриваемого полособульба номинальной высоты и полной номинальной толщины стенки, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2* для рассматриваемого элемента основного набора, мм.

2.4.1.5 Характеристики сечения нетто полособульба, включая присоединенную обшивку, согласно *рис. 4.2.13*, должны приниматься следующим образом:

а) площадь поперечного сечения нетто полособульба, включая присоединенную обшивку, $A_{tot\text{-}net}$ должна приниматься как:
$A_{tot\text{-}net} = A_{bulb\text{-}net} + A_{p\text{-}net}$ мм² ;

б) положение нейтральной оси полособульба нетто, включая присоединенную обшивку, $NA_{tot\text{-}net}$ должно приниматься как:

$$NA_{tot\text{-}net} = \frac{A_{bulb\text{-}net}(NA_{bulb\text{-}net} + t_{p\text{-}net}) + 0{,}5A_{p\text{-}net}t_{p\text{-}net}}{A_{tot\text{-}net}} \text{ мм;}$$

в) момент инерции нетто полособульба, включая присоединенную обшивку, $I_{tot\text{-}net}$ должен приниматься как:
$I_{tot\text{-}net} = I_{bulb\text{-}net} + I_{p\text{-}net} + A_{bulb\text{-}net}(NA_{bulb\text{-}net} + t_{p\text{-}net} - NA_{tot\text{-}net})^2 \cdot 10^{-4} + A_{p\text{-}net}(NA_{tot\text{-}net} - 0{,}5t_{p\text{-}net})^2 \cdot 10^{-4}$ см⁴,

где $A_{bulb\text{-}net}$ площадь поперечного сечения нетто полособульба, мм², см. *2.4.1.4*;
$A_{p\text{-}net}$ площадь нетто присоединенной обшивки
$= t_{p\text{-}net} b_p$ мм²;
$t_{p\text{-}net}$ толщина нетто присоединенного свободного пояска
$= t_{p\text{-}grs} - t_{corr}$ мм ;
$t_{p\text{-}grs}$ полная толщина присоединенного свободного пояска, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*, мм;
b_p ширина присоединенной обшивки, мм;
$NA_{bulb\text{-}net}$ нейтральная ось полособульба нетто, мм, см. *2.4.1.4*;
$I_{bulb\text{-}net}$ момент инерции нетто полособульба, см⁴, см. *2.4.1.4*;
$I_{p\text{-}net}$ момент инерции нетто присоединенной обшивки

$$= \frac{1}{12} b_p t_{p\text{-}net}^{\ 3} \cdot 10^{-4} \text{ см}^4$$

Рис. 4.2.13
Определение нейтральной оси для полособульбов с присоединенной обшивкой

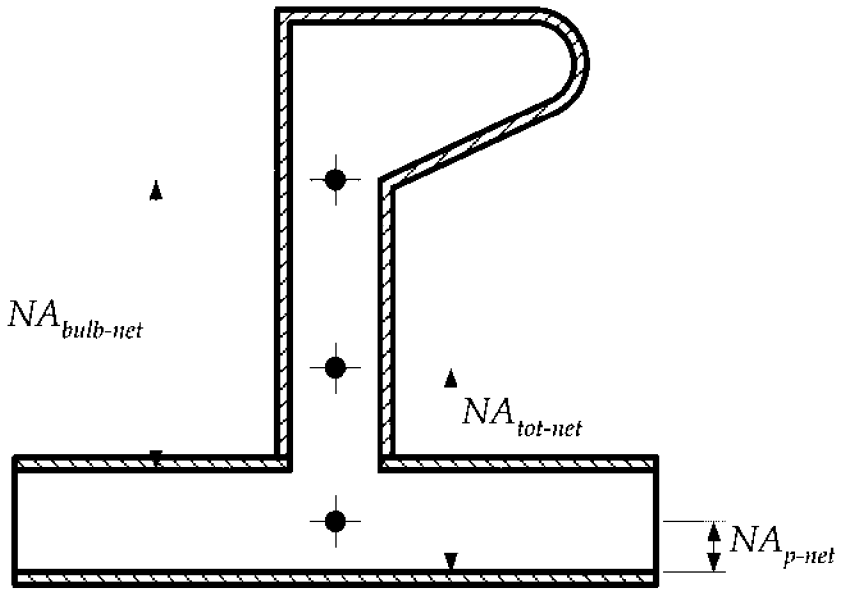


Таблица 4.2.1

Поправочные коэффициенты для данных по голландскому полособульбу нетто

Высота профиля h_{stf}(мм)	$\Delta A_{bulb\text{-}grs}$ (мм^2 на мм коррозии)	$\Delta I_{bulb\text{-}grs}$ (см^4 на мм коррозии)
200	253	100
220	279	133
240	305	173
260	330	220
280	357	276
300	383	339
320	409	413
340	435	496
370	474	640
400	513	810
430	552	1007

Таблица 4.2.2

Поправочные коэффициенты для данных по японскому полособульбу нетто

Высота профиля h_{stf} (мм)	$\Delta A_{bulb\text{-}grs}$ (мм² на мм коррозии)	$\Delta I_{bulb\text{-}grs}$ (см⁴ на мм коррозии)
180	202	72
200	225	100
230	258	152
250	281	197

2.4.2 Эффективные упругие характеристики поперечных сечений элементов основного набора

2.4.2.1 Площадь нетто упругого сдвига $A_{shr\text{-}el\text{-}net}$ элементов основного набора должна приниматься как:

$$A_{shr\text{-}el\text{-}net} = \frac{(h_{stf} + t_{p\text{-}net}) t_{w\text{-}net} \sin \varphi_w}{100} \text{ см}^2,$$

где h_{stf} высота ребра жесткости, включая свободный поясок, мм. См. также *2.4.1.2*;
$t_{p\text{-}net}$ толщина нетто присоединенного свободного пояска, мм;
$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки, мм;
φ_w угол между стенкой ребра жесткости и присоединенной обшивкой (см. *рис. 4.2.14*), град. φ_w должен приниматься 90°, если угол больше или равен 75°.

2.4.2.2 Эффективный высота стенок ребер жесткости d_{shr} должна приниматься как:

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_{p\text{-}net}) \sin \varphi_w \text{ мм},$$

где h_{stf} высота ребра жесткости, включая свободный поясок, мм – см. также *2.4.1.2*;
$t_{p\text{-}net}$ толщина нетто присоединенного свободного пояска, мм;
φ_w угол между стенкой ребра жесткости и присоединенной обшивкой (см. *рис. 4.2.14*), град. φ_w должен приниматься 90°, если угол больше или равен 75°.

2.4.2.3 Упругий момент сопротивления сечения нетто $Z_{el\text{-}\varphi\text{-}net}$ элементов основного набора должен приниматься как:

$$Z_{el\text{-}\varphi\text{-}net} = Z_{stf\text{-}net} \sin \varphi_w \text{ см}^3,$$

где $Z_{stf\text{-}net}$ момент сопротивления сечения нетто соответствующего вертикального ребра жесткости, т.е. когда φ_w = 90°, см³. См. также *2.4.1.2*;
φ_w угол между стенкой ребра жесткости и присоединенной обшивкой (см. *рис. 4.2.14*), град. φ_w должен приниматься 90°, если угол больше или равен 75°.

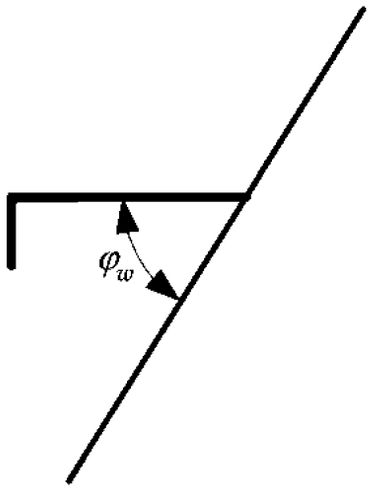
2.4.3 Эффективный пластический момент сопротивления сечения и площадь сдвига ребер жесткости

2.4.3.1 Площадь нетто пластического сдвига $A_{shr\text{-}pl\text{-}net}$ элементов основного набора должна приниматься как:

$$A_{shr\text{-}pl\text{-}net} = \frac{(h_{stf} + t_{p\text{-}net}) t_{w\text{-}net} \sin \varphi_w}{100} \text{ см}^2,$$

где h_{stf} высота ребра жесткости, включая свободный поясок, мм. См. также *2.4.1.2*;
$t_{p\text{-}net}$ толщина нетто присоединенного свободного пояска, мм;
$t_{w\text{-}net}$ толщина стенки нетто, мм;
φ_w угол между стенкой ребра жесткости и плоским фланцем (см. *рис. 4.2.14*), град. φ_w должен приниматься 90°, если угол больше или равен 75°.

Рис. 4.2.14
Угол между стенкой ребра жесткости и плоским фланцем



2.4.3.2 Эффективный пластический момент сопротивления сечения нетто $Z_{pl\text{-}net}$ элементов основного набора должен приниматься как:

$$Z_{pl\text{-}net} = \frac{f_w d_w^{\,2} t_{w\text{-}net} \sin\varphi_w}{2000} + \frac{(2\gamma - 1) A_{f\text{-}net} (h_{f\text{-}ctr} \sin\varphi_w - b_{f\text{-}ctr} \cos\varphi_w)}{1000} \text{ см}^3,$$

где f_w коэффициент касательных напряжений в стенке,
= 0,75 для поперечных сечений профилей с фланцем и n = 1 или 2;
= 1,0 для поперечных сечений профилей с фланцем при n = 0 и полосовых ребер жесткости;

n количество концевых опор, воспринимающих момент.
Каждый элемент может иметь 0, 1 или 2 концевые опоры, воспринимающие момент. Наличие такой опоры может учитываться там, где:
а) ребро жесткости непрерывно на опоре;
б) ребро жесткости проходит через поддерживающий лист и соединяется в месте окончания карлингсом (или эквивалентной заменой) со смежными бимсами;
в) ребро жесткости крепится к примыкающему бимсу, участвующей в изгибе (не к ребру жесткости, обеспечивающему устойчивость) или книце. Последняя считается участвующей в изгибе, если крепится к другому бимсу (не к ребру жесткости, обеспечивающему устойчивость);

d_w высота стенки ребра жесткости, мм:
= $h_{stf} - t_{f\text{-}grs}$ для тавровых, угловых (катанных и составных) профилей и угловых профилей 2;
= h_{stf} для полосовых профилей и угловых профилей 3;
принимаются согласно *табл. 4.2.3* и *табл. 4.2.4* для полособульбов;

h_{stf} высота ребра жесткости, мм – см. *рис. 4.2.12*;

$\gamma = 0{,}25\,(1 + \sqrt{3 + 12\beta})$;

β = 0,5 во всех случаях, кроме угловых профилей без триппинг бракета в середине пролета;

$= \dfrac{10^6 t_{w\text{-}net}^2 f_b l_f^2}{80 b_f^{\,2} t_{f\text{-}net} h_{f\text{-}ctr}} + \dfrac{t_{w\text{-}net}}{2 b_f}$, но не должно приниматься более 0,5 для угловых (катанных и составных) профилей без триппинг бракета в середине пролета;

$A_{f\text{-}net}$ площадь нетто поперечного сечения фланца, мм^2
= $b_f t_{f\text{-}net}$ в общем случае;
= 0 для полосовых ребер жесткости;

b_f ширина фланца, мм – см. *рис. 4.2.12*; для полособульбов – см. *табл. 4.2.3* и *табл. 4.2.4*;

$b_{f\text{-}ctr}$ расстояние от середины толщины стенки ребра жесткости до центра площади фланца
= 0,5 ($b_f - t_{w\text{-}grs}$) для катанных угловых профилей;
= 0 для тавровых профилей;
согласно *табл. 4.2.3* и *табл. 4.2.4* для полособульбов;

$h_{f\text{-}ctr}$ высота ребра жесткости, измеренная до середины толщины фланца
$= h_{stf} - 0{,}5\ t_{f\text{-}grs}$ для профилей с фланцем прямоугольной формы кроме углового профиля 3;
$= h_{stf} - d_{edge} - 0{,}5\ t_{f\text{-}grs}$ для углового профиля 3;
согласно *табл. 4.2.3* и *табл. 4.2.4* для полособульбов;

d_{edge} расстояние от верхней кромки стенки до верха фланца, мм. Для углового профиля 3 – см. *рис. 4.2.12*;

f_b 1,0 в общем случае;
0,8 для непрерывных фланцев с концевой (-ыми) кницей (-ами). Непрерывным фланцем считается неразрезной фланец, непрерывный на всей длине главного несущего элемента;
0,7 для фланцев, не являющихся непрерывными, с концевой (-ыми) кницей (-ами).
Таким фланцем считается фланец, который разрезан на главном несущем элементе или заканчивается на опоре без продолжения с другой стороны опоры;

l_f длина фланца ребра жесткости между опорными стенками, м, но уменьшенная на длину стороны концевой кницы для ребер жесткости с концевой (-ыми) кницей (-ами);

$t_{f\text{-}net}$ толщина фланца нетто, мм
$= 0$ для полосовых ребер жесткости;
согласно *табл. 4.2.3* и *табл. 4.2.4* для полособульбов;

$t_{w\text{-}net}$ толщина стенки нетто, мм;

φ_w угол между стенкой ребра жесткости и свободным пояском (см. *рис. 4.2.14*), град. φ_w должен приниматься 90°, если угол больше или равен 75°.

Таблица 4.2.3

Характерные данные фланца для голландских полособульбов
(см. *рис. 4.2.15*)

h_{stf} (мм)	d_w (мм)	$b_{f\text{-}grs}$* (мм)	$t_{f\text{-}grs}$* (мм)	$b_{f\text{-}ctr}$ (мм)	$h_{f\text{-}ctr}$ (мм)
200	171	40	14,4	10,9	188
220	188	44	16,2	12,1	206
240	205	49	17,7	13,3	225
260	221	53	19,5	14,5	244
280	238	57	21,3	15,8	263
300	255	62	22,8	16,9	281
320	271	65	25,0	18,1	300
340	288	70	26,4	19,3	318
370	313	77	28,8	21,1	346
400	338	83	31,5	22,9	374
430	363	90	33,9	24,7	402

Примечание
1. Характерные данные фланца, преобразованные к размерам связей нетто, принимаются следующими:
$b_f \cong b_{f\text{-}grs}{}^* + 2\ t_{w\text{-}net}$
$t_{f\text{-}net} = t_{f\text{-}grs}{}^* - t_{corr}$
$t_{w\text{-}net} = t_{w\text{-}grs} - t_{corr}$

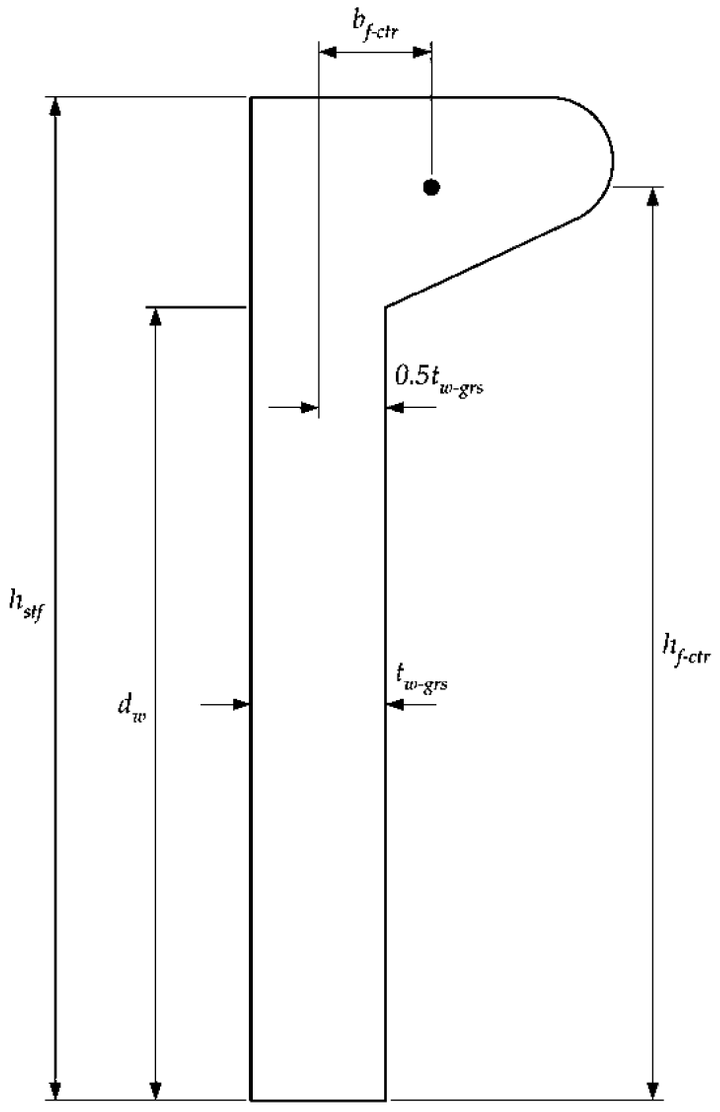
Таблица 4.2.4

Характерные данные фланца для японских полособульбов
(см. *рис. 4.2.15*)

h_{stf} (мм)	d_w (мм)	$b_{f\text{-}grs}$* (мм)	$t_{f\text{-}grs}$* (мм)	$b_{f\text{-}ctr}$ (мм)	$h_{f\text{-}ctr}$ (мм)
180	156	34	11,9	9,0	170
200	172	39	13,7	10,4	188
230	198	45	15,2	11,7	217
250	215	49	17,1	12,9	235

Примечание
1. Характерные данные фланца, преобразованные к размерам связей нетто, принимаются следующими:
$b_f \cong b_{f\text{-}grs}^* + 2\, t_{w\text{-}net}$
$t_{f\text{-}net} = t_{f\text{-}grs}^* - t_{corr}$
$t_{w\text{-}net} = t_{w\text{-}grs} - t_{corr}$

Рис. 4.2.15
Характерные данные для полособульбов



2.5 Геометрические характеристики главных несущих элементов

2.5.1 Эффективная площадь стенки главных несущих элементов

2.5.1.1 Для расчета площади сдвига главных несущих элементов высота стенки h_w должна приниматься как теоретическая высота главного несущего элемента.

2.5.1.2 Для главных несущих элементов одинарной и двойной обшивки эффективная площадь стенки нетто $A_{w\text{-}net50}$ должна приниматься как:

$$A_{w\text{-}net50} = 0{,}01\, h_n\, t_{w\text{-}net50} \quad \text{см}^2,$$

где h_n эффективная высота стенки, мм, для главного несущего элемента одинарной обшивки (см. *рис. 4.2.1б*) должна приниматься как наименьшая из:
а) h_w;
б) $h_{n3} + h_{n4}$;
в) $h_{n1} + h_{n2}$;
для главного несущего элемента двойной обшивки при определении эффективной высоты стенки должен применяться такой же принцип;
h_w высота стенки главного несущего элемента, мм;
h_{n1}, h_{n2}, h_{n3}, h_{n4} – см. *рис. 4.2.1б*;
$t_{w\text{-}net50}$ толщина стенки нетто, мм,
$= t_{w\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм;
$t_{w\text{-}grs}$ полная толщина стенки, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*, мм.

2.5.1.3 При наличии выреза на расстоянии менее $h_w/3$ от рассматриваемого поперечного сечения h_n должна приниматься как наименьшая из высоты нетто и расстояния нетто через отверстие – см. *рис. 4.2.1б*.

2.5.1.4 Если фланец балки главного несущего элемента при одинарной обшивке не параллелен присоединенной обшивке, эффективная площадь стенки нетто $A_{w\text{-}net50}$ должна приниматься как:

$$A_{w\text{-}net50} = 0{,}01\, h_n\, t_{w\text{-}net50} + 1{,}3\, A_{f\text{-}net50} \sin 2\theta \sin \theta \quad \text{см}^2,$$

где $A_{f\text{-}net50}$ площадь нетто фланца/свободного пояска
$= 0{,}01\, b_f\, t_{f\text{-}net50}$ см^2;
b_f ширина фланца или свободного пояска, мм;
$t_{f\text{-}net50}$ толщина фланца нетто,
$= t_{f\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм;
$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина фланца, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*, мм;
θ угол наклона непрерывного фланца – см. *рис. 4.2.1г*;
$t_{w\text{-}net50}$ толщина стенки нетто согласно *2.5.1.2*, мм;
h_n эффективная высота стенки согласно *рис. 4.2.1б*, мм.

2.5.2 Эффективный момент сопротивления главных несущих элементов

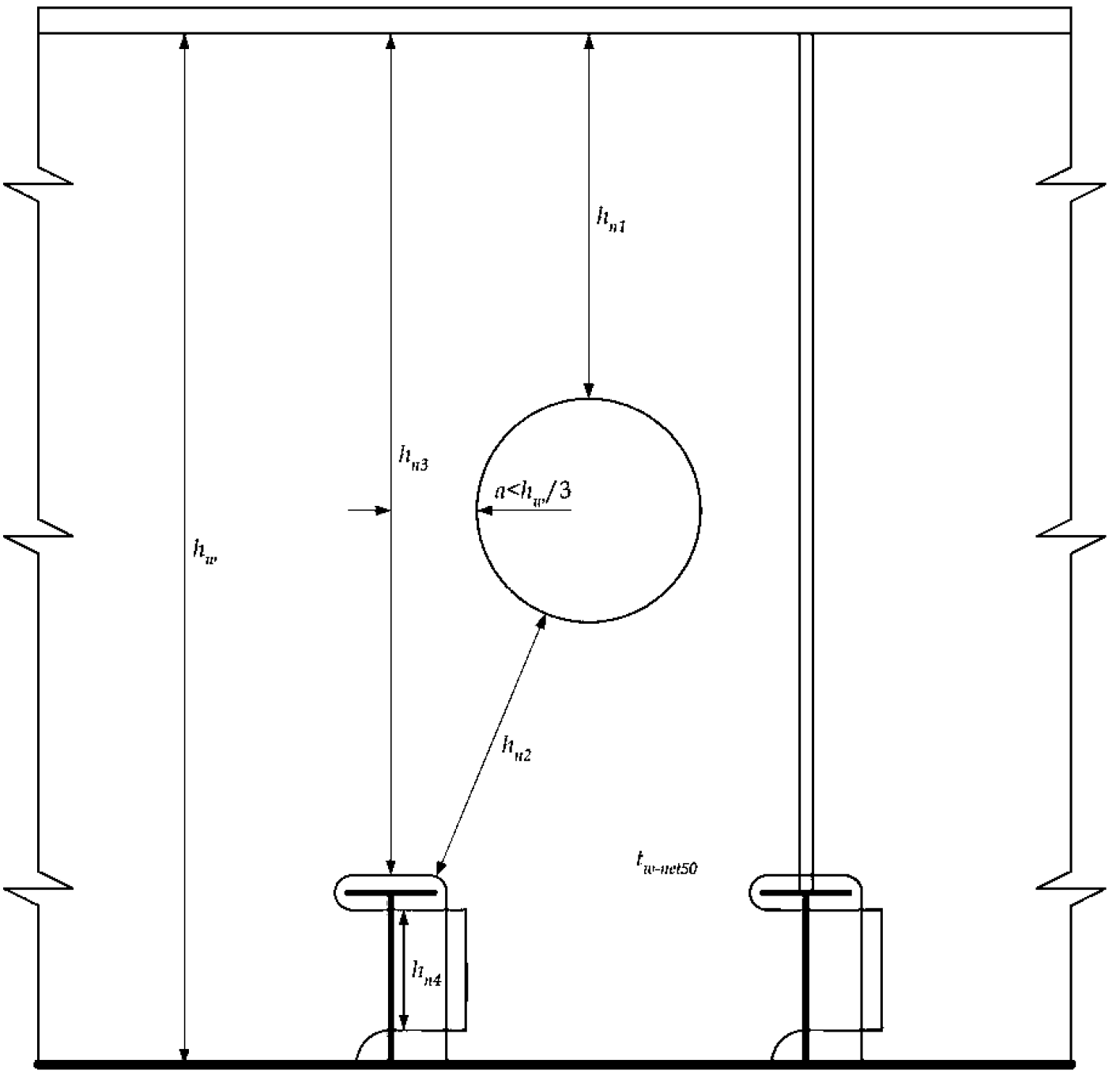
2.5.2.1 Момент сопротивления нетто главных несущих элементов должен рассчитываться с учетом толщин нетто присоединенной обшивки, стенки и свободного пояска (или верхней присоединенной обшивки для балок при двойной обшивке), где толщины нетто должны приниматься как:

$t_{w\text{-}net50} = t_{w\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм, для толщины стенки нетто;
$t_{p\text{-}net50} = t_{p\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм, для толщины нетто нижней присоединенной обшивки;
$t_{f\text{-}net50} = t_{f\text{-}grs} - 0{,}5\, t_{corr}$ мм, для толщины нетто верхней присоединенной обшивки или свободного пояска,

где $t_{w\text{-}grs}$ полная толщина стенки, мм;
$t_{p\text{-}grs}$ полная толщина нижней присоединенной обшивки, мм;
$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина верхней присоединенной обшивки или свободного пояска, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*, мм.

Примечание
Для криволинейных свободных поясков главных несущих элементов – см. *2.3.4*.

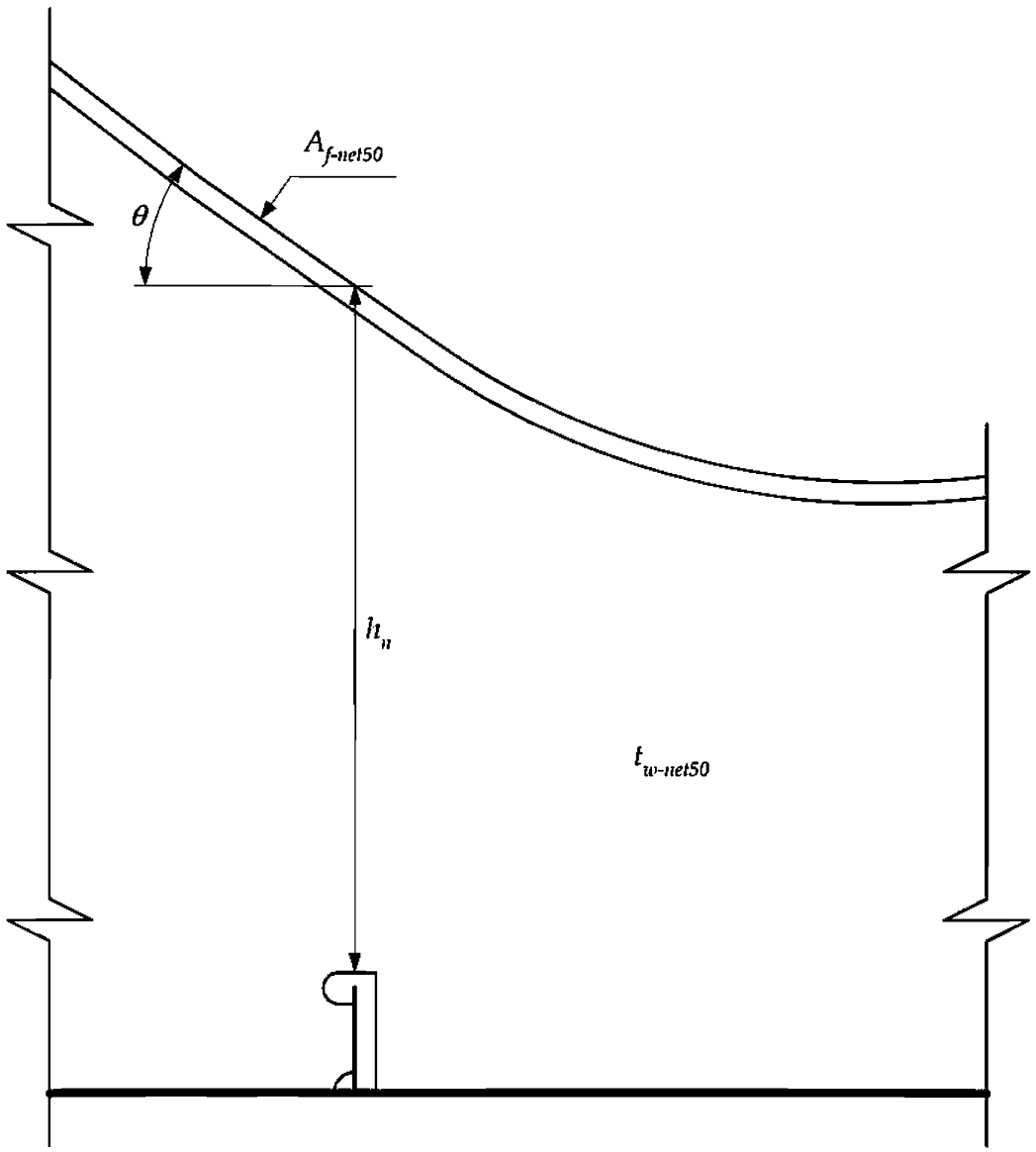
Рис. 4.2.16
Эффективная площадь стенки в районе вырезов



Примечание

Рисунок показывает эффективную площадь стенки для главного несущего элемента одинарной обшивки. Эффективная площадь стенки для главного несущего элемента двойной обшивки определяется аналогично.

Рис. 4.2.17
Эффективная площадь стенки в районе книц



2.6 Геометрические характеристики поперечного сечения эквивалентного бруса

2.6.1 Вертикальный момент сопротивления эквивалентного бруса

2.6.1.1 Эффективный вертикальный момент сопротивления эквивалентного бруса Z_v на любом расстоянии по вертикали z от основной плоскости определяется как:

$$Z_v = \frac{I_v}{|z - z_{NA}|} \text{ м}^3,$$

где I_v вертикальный момент инерции эквивалентного бруса всех продольно непрерывных связей в рассматриваемом поперечном сечении после вычета отверстий, согласно *2.6.3*, м^4;

z расстояние от рассматриваемой конструктивного элемента до основной плоскости, м;

z_{NA} расстояние от основной плоскости до горизонтальной нейтральной оси поперечного сечения эквивалентного бруса, м.

2.6.1.2 Для расчета вертикального момента сопротивления нетто эквивалентного бруса для оценки прочности $Z_{v\text{-}net50}$, согласно *разделу 8*, вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса и положение горизонтальной нейтральной оси должны рассчитываться, исходя из полной толщины за вычетом надбавки на коррозию $0{,}5t_{corr}$ для всех эффективных конструктивных элементов, составляющих сечение эквивалентного бруса, где t_{corr} – согласно *разделу 6/3.2*.

2.6.1.3 Для расчета вертикального момента сопротивления нетто эквивалентного бруса для оценки усталости $Z_{v\text{-}net75}$, согласно *разделу 9/3*, вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса и положение горизонтальной нейтральной оси должны рассчитываться, исходя из полной толщины за вычетом надбавки на коррозию $0{,}25t_{corr}$ для всех эффективных конструктивных элементов, составляющих сечение эквивалентного бруса, где t_{corr} – согласно *разделу 6/3.2*.

2.6.2 Горизонтальный момент сопротивления эквивалентного бруса

2.6.2.1 Расчетный горизонтальный момент сопротивления эквивалентного бруса Z_h для любой поперечной координаты y должен приниматься как:

$$Z_h = \frac{I_h}{|y - y_{NA}|} \text{ м}^3,$$

где I_h горизонтальный момент инерции эквивалентного бруса всех продольно непрерывных элементов в рассматриваемом поперечном сечении после вычета отверстий, согласно *2.6.3*, м^4;

y поперечная координата, м;

y_{NA} расстояние от ДП до вертикальной нейтральной оси поперечного сечения эквивалентного бруса, м.

2.6.2.2 Для расчета горизонтального момента сопротивления нетто эквивалентного бруса для оценки прочности $Z_{h\text{-}net50}$, согласно *разделу 8*, горизонтальный момент инерции нетто эквивалентного бруса и положение вертикальной нейтральной оси должны рассчитываться, исходя из полной толщины за вычетом надбавки на коррозию $0{,}5t_{corr}$ для всех эффективных конструктивных элементов, составляющих сечение эквивалентного бруса, где t_{corr} – согласно *разделу 6/3.2*.

2.6.2.3 Для расчета горизонтального момента сопротивления нетто эквивалентного бруса для оценки усталости $Z_{h\text{-}net75}$, согласно *разделу 9/3*, горизонтальный момент инерции нетто эквивалентного бруса и положение вертикальной нейтральной оси должны рассчитываться, исходя из полной толщины за вычетом надбавки на коррозию $0{,}25t_{corr}$ для всех эффективных конструктивных элементов, составляющих сечение эквивалентного бруса, где t_{corr} – согласно *разделу 6/3.2*.

2.6.3 Эффективная площадь для расчета момента инерции и момента сопротивления эквивалентного бруса

2.6.3.1 Эффективная площадь поперечного сечения эквивалентного бруса включает все продольно непрерывные конструктивные элементы за вычетом отверстий. Конструктивные элементы, приведенные в *2.6.3.2* не должны включаться в эффективную площадь поперечного сечения эквивалентного бруса. Определения вычитаемых и не вычитаемых отверстий приведены в *2.6.3.4 – 2.6.3.9*. Определение эффективной площади в районе переборок и палуб, не являющихся непрерывными, приведено в *2.6.3.10*.

2.6.3.2 Указанные ниже конструктивные элементы не должны рассматриваться как часть площади поперечного сечения эквивалентного бруса, так как они не обладают достаточной конструктивной непрерывностью и поэтому должны быть исключены из расчета:

а) надстройки, не образующие прочную палубу;
б) рубки;
в) вертикально гофрированные переборки;
г) фальшборт и поперечные листы;
д) скуловые кили;
е) срезанные на ус или не являющиеся непрерывными продольные ребра жесткости, если рассматриваемое поперечное сечение находится от конца ребра жесткости на расстоянии меньшем, чем его двойная высота.

2.6.3.3 Должны применяться следующие определения отверстия:

а) большие отверстия – отверстия длиной свыше 2,5 м и/или шириной 1,2 м, если длина измеряется вдоль общей оси *x* судна согласно *рис. 4.1.1*;
б) малые отверстия – отверстия, не являющиеся большими, т.е. лазы, вырезы для облегчения конструкции и т.д.;
в) изолированные отверстия – отверстия, расположенные на расстоянии не менее 1 м друг от друга в поперечном/продольном направлении.

2.6.3.4 Большие и малые отверстия, не являющиеся изолированными, должны вычитаться из площади поперечного сечения при расчете момента сопротивления.

2.6.3.5 Изолированные малые отверстия в продольных ребрах жесткости или балках подлежат вычету, если их высота превышает 25 % высоты стенки.

2.6.3.6 Если несколько отверстий расположены в пределах одного поперечного сечения или смежно с ним, то вычету подлежит общая эквивалентная ширина всех отверстий Σb_{ded} – см. *2.6.3.7 – 2.6.3.8* и *рис. 4.2.18*.

2.6.3.7 Изолированные малые отверстия не требуют вычета, если сумма их ширин или ширин затененной зоны в одном поперечном сечении не снижает момент сопротивления сечения эквивалентного бруса на уровне палубы или основной плоскости более чем на 3 %. Или изолированные малые отверстия не требуют вычета, если общая эквивалентная ширина малых отверстий Σb_{sm} меньше, чем:

$$\Sigma b_{sm} = 0{,}06\,(B_{sect} - \Sigma b_{ded}) \quad \text{м},$$

где Σb_{sm} общая эквивалентная ширина малых отверстий – см. *рис. 4.2.18*, $= b_{sm1} + b_{sm2} + b_{sm3}$ м;
B_{sect} ширина судна в рассматриваемом сечении, м;
Σb_{ded} общая эквивалентная ширина всех отверстий, м – *см. 2.6.3.7.* Должно быть учтено влияние затененной зоны вычитаемых отверстий.

2.6.3.8 При расчете общей эквивалентной ширины малых отверстий Σb_{sm} предполагается, что каждое отверстие имеет продольную затененную зону – см. *рис. 4.2.18*. Эта зона получается путем проведения двух касательных под углом 15° к продольной оси судна.

2.6.3.9 Полная или частичная компенсация отверстий может быть обеспечена увеличением площади поперечного сечения обшивки, продольных ребер жесткости или балок, или другой подходящей конструкции. Зона компенсации должна быть продлена достаточно далеко в нос и корму от отверстия. Ни один элемент основного набора кромки отверстия не должен включаться в эффективную площадь при расчете момента сопротивления сечения эквивалентного бруса. Компенсация не требуется для отверстий, которые не подлежат вычету согласно *2.6.3.7*.

2.6.3.10 При расчете неэффективной площади в районе больших отверстий и в районе палуб и продольных переборок, не являющихся непрерывными, эффективная площадь должна приниматься согласно *рис. 4.2.19*. Затененная зона, которая указывает площадь, не являющуюся эффективной, получается проведением двух касательных под углом 15° к продольной оси судна.

Рис. 4.2.18
Расчет эквивалентной ширины

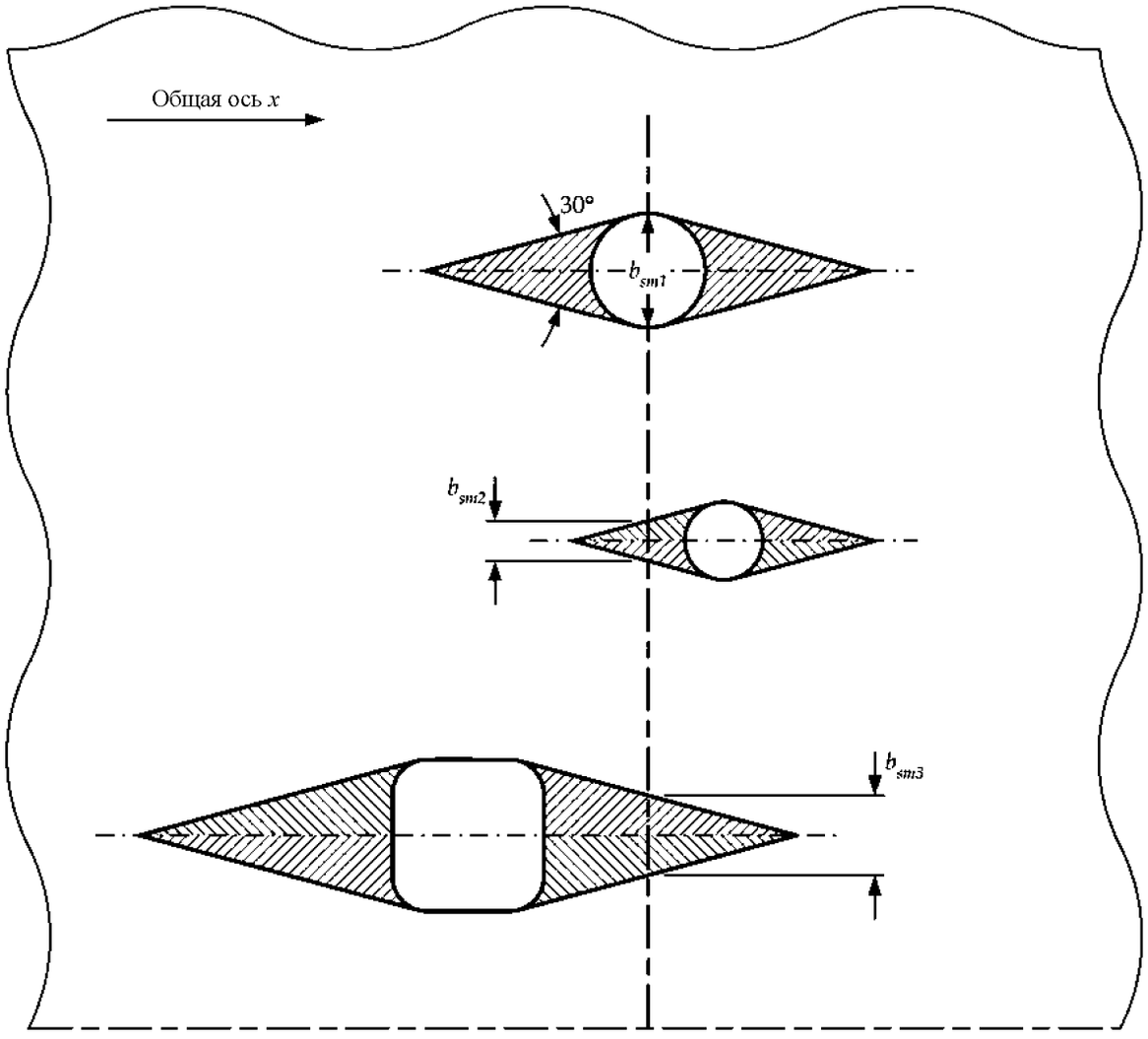
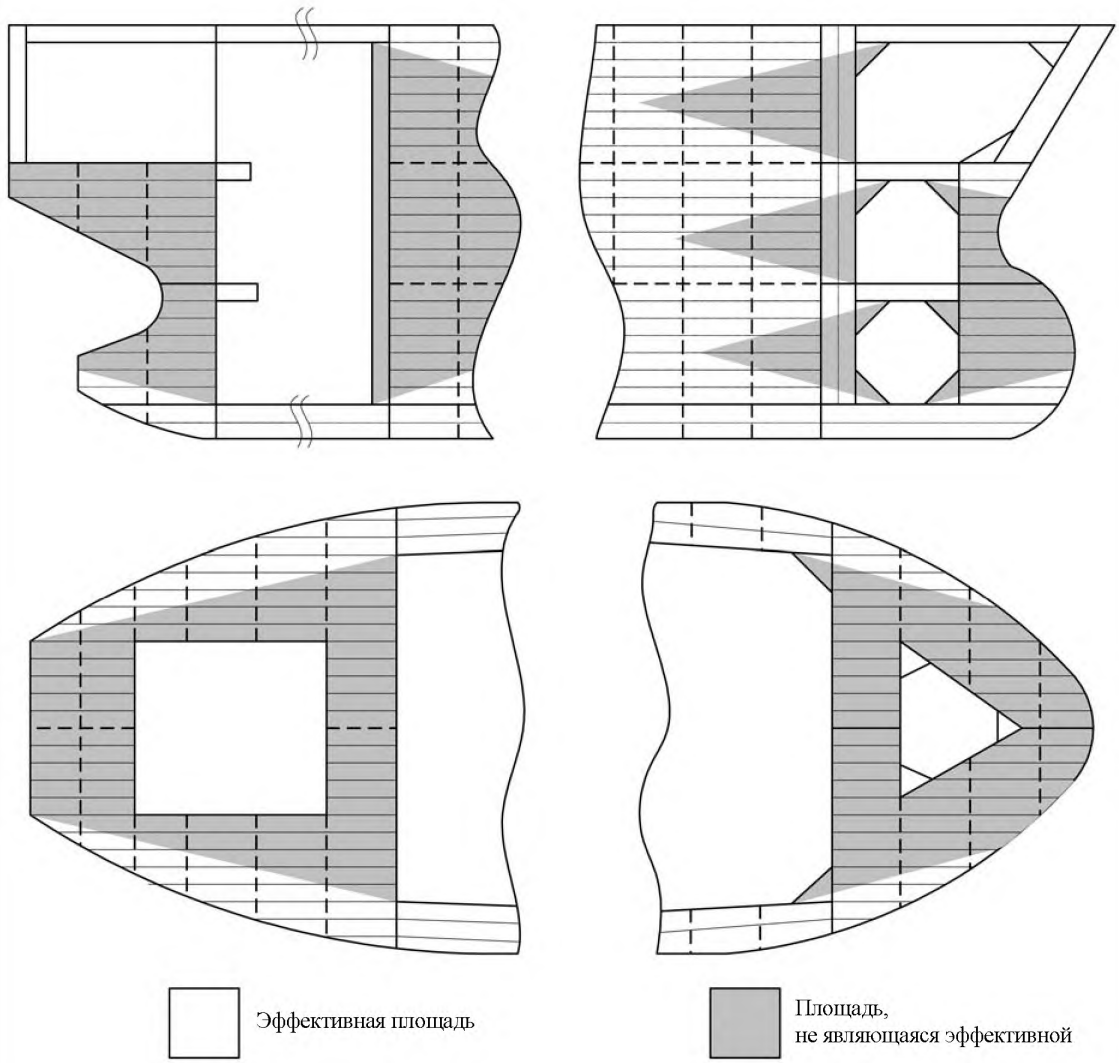


Рис. 4.2.19
Эффективная площадь в районе палуб и переборок, не являющихся непрерывными



2.6.4 Эффективный вертикальная площадь сдвига эквивалентного бруса

2.6.4.1 эффективный вертикальная площадь сдвига эквивалентного бруса нетто включает площадь обшивки нетто бортовой обшивки, включая скулу, внутренний корпус (в том числе наклонную обшивку скуловой бортовой цистерны и нижележащий бортовой днищевой стрингер) и продольные переборки, включая совпадающие с ними днищевые стрингеры.

2.6.4.2 Для расчета вертикальной площади сдвига эквивалентного бруса нетто площадь обшивки нетто должна рассчитываться, исходя из толщины нетто t_{net50}, получаемой из полной толщины за вычетом надбавки на коррозию $0{,}5t_{corr}$ всех расчетных конструктивных элементов согласно *2.6.4.1* (t_{corr} – согласно определению в *разделе 6/3.2*).

2.6.4.3 Для продольных прочных связей, образующих стенку эквивалентного бруса, которые наклонены к вертикали, площадь сечения связи, учитываемая при расчете перерезывающих сил, должна основываться на проекции площади на вертикальную плоскость – см. *рис. 4.2.20*.

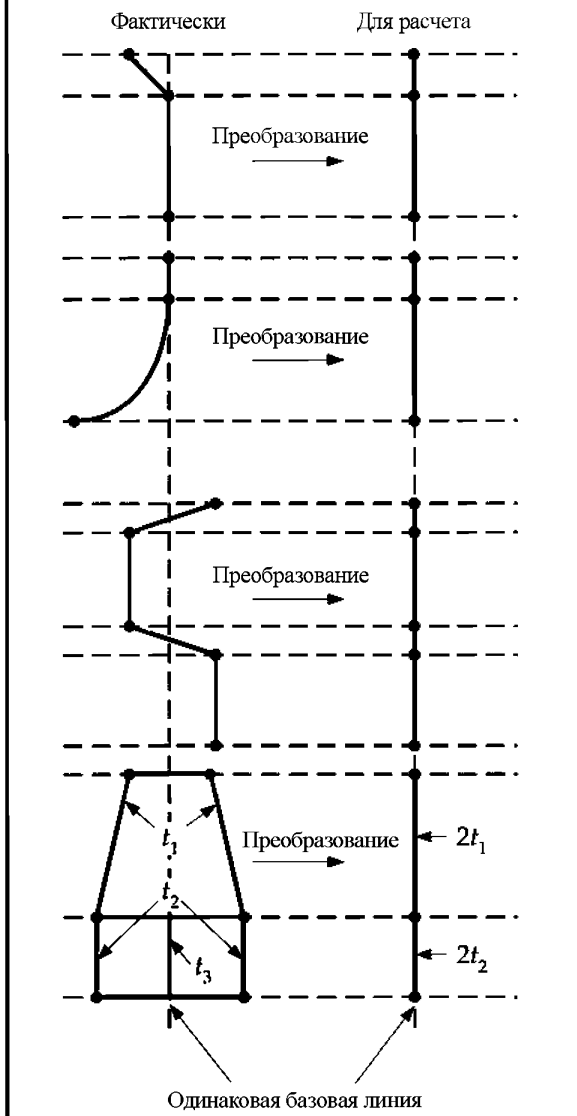
2.6.4.4 Определение эффективной площади сдвига нетто для вертикально и горизонтально гофрированных переборок должно основываться на эффективной расчетной эквивалентной толщине $t_{cg\text{-}net50}$, получаемой по формуле:

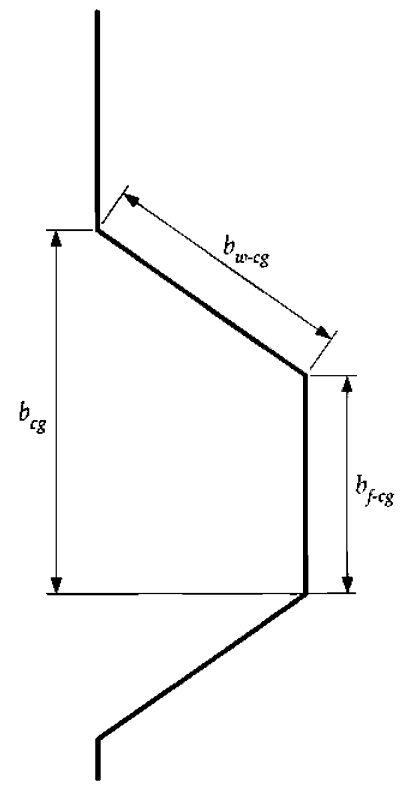
$$t_{cg\text{-}net50} = [0{,}5\,(t_{w\text{-}grs} + t_{f\text{-}grs})\,\frac{b_{cg}}{b_{w\text{-}cg} + b_{f\text{-}cg}}] - 0{,}5\,t_{corr} \quad \text{мм},$$

где $t_{w\text{-}grs}$ полная толщина стенки гофра, мм;
$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина фланца гофра, мм;
b_{cg} проекция длины одного гофра, мм – см. *рис. 4.2.20*;
$b_{w\text{-}cg}$ ширина стенки гофра, мм – см. *рис. 4.2.20*;
$b_{f\text{-}cg}$ ширина фланца гофра, мм – см. *рис. 4.2.20*;
t_{corr} надбавка на коррозию согласно *разделу 6/3.2*.

2.6.4.5 Эквивалентная эффективная толщина гофра $t_{cg\text{-}net50}$ применима только для расчета эффективной площади $A_{eff\text{-}net50}$ и коэффициента распределения перерезывающих сил f_i.

Рис. 4.2.20
Эффективная площадь сдвига





3 Проектирование конструкции

3.1 Стандартные элементы конструкции

3.1.1 Сведения, подлежащие представлению

3.1.1.1 Для анализа должен быть представлен альбом стандартных элементов конструкции. Он должен включать следующее:

а) соотношения составных элементов для подтверждения соответствия действующим стандартам по устойчивости конструкции – см. *раздел 10*;

б) проектные решения по элементам конструкции, которые снижают отрицательное влияние концентрации напряжений, надрезов и усталости материала:

– концевые детали, пересечения элементов и примыкающих книц;
– форма и местонахождение отверстий для воздуха, сливных отверстий и/или вырезов для облегчения конструкции;
– форма и подкрепление прорезей или вырезов для внутренних устройств;
– удаление или заделка сварочных гребенок в районе стыков, притупление концов книц, уменьшение резких изменений поперечного сечения или нарушений конструктивной непрерывности;
– соотношение и толщина конструктивных элементов в целях снижения усталости вследствие циклических напряжений, вызванных двигателем, гребным винтом или волнением, в частности, для сталей повышенной прочности.

3.2 Окончание элементов основного набора

3.2.1 Общие положения

3.2.1.1 Как правило, конструктивные элементы должны быть надежно соединены со смежными конструкциями для исключения жестких точек, надрезов и концентраций напряжений.

3.2.1.2 Там, где заканчивается конструктивный элемент, должна сохраняться конструктивная непрерывность с помощью соответствующей дополнительной конструкции, установленной в районе концевого соединения шпангоутов, или концевое соединение должно быть соответственно продолжено с помощью дополнительной конструкции и соединено со смежной балкой, ребром жесткости и т.д.

3.2.1.3 Все типы ребер жесткости (продольные элементы, бимсы, шпангоуты, стойки переборок) должны иметь по концам соединения. Однако в особых случаях допускаются концы балок, срезанные на ус. Требования к различным типам соединений (с кницами, без книц или срезанные на ус) приведены в *3.2.3 – 3.2.5*.

3.2.2 Продольные элементы

3.2.2.1 Все продольные элементы должны оставаться непрерывными на протяжении $0{,}4L$ на миделе в районе грузовых танков. В особых случаях продольные элементы могут оканчиваться в районе больших отверстий, фундаментов и частичных балок, но концевые соединения и сварка подлежат специальному рассмотрению.

3.2.2.2 Если непрерывность в сохранении прочности продольных элементов обеспечивается кницами, то должна быть обеспечена правильная подгонка книц с каждой стороны главного несущего элемента, и размеры связей книц должны быть такими, чтобы общий момент сопротивления сечения ребро жесткости/кница и эффективная площадь поперечного сечения были не меньше, чем у элемента.

3.2.3 Соединения с кницами

3.2.3.1 В концевых соединениях с помощью книц непрерывность в сохранении прочности должна поддерживаться в соединениях ребро жесткости/кница и кница/подкрепление. Кницы должны иметь размеры связей достаточные для компенсации отсутствия непрерывности фланца ребра жесткости или самого ребра жесткости.

3.2.3.2 Конструкция соединения ребро жесткости/кница должно быть таким, чтобы ни в одной точке соединения момент сопротивления сечения не был меньше, чем требуется для ребра жесткости.

3.2.3.3 Минимальная толщина кницы нетто $t_{bkt\text{-}net}$ должна приниматься как:

$$t_{bkt\text{-}net} = (2 + f_{bkt}\sqrt{Z_{rl\text{-}net}})\left(\sqrt{\frac{\sigma_{yd\text{-}stf}}{\sigma_{yd\text{-}bkt}}}\right) \text{ мм, но не должна быть менее 6 мм и более 13,5 мм,}$$

где f_{bkt} 0,2 для книц с фланцем или ребром, подкрепляющим кромку;
0,3 для книц без фланца или ребра, подкрепляющего кромку;

$Z_{rl\text{-}net}$ момент сопротивления сечения ребра жесткости нетто согласно правилам, см^3. Для случая соединения двух ребер жесткости нет необходимости принимать его больше, чем для меньшего из них;

$\sigma_{yd\text{-}stf}$ минимальный заданный предел текучести материала ребра жесткости, Н/мм^2;

$\sigma_{yd\text{-}bkt}$ минимальный заданный предел текучести материала кницы, Н/мм^2.

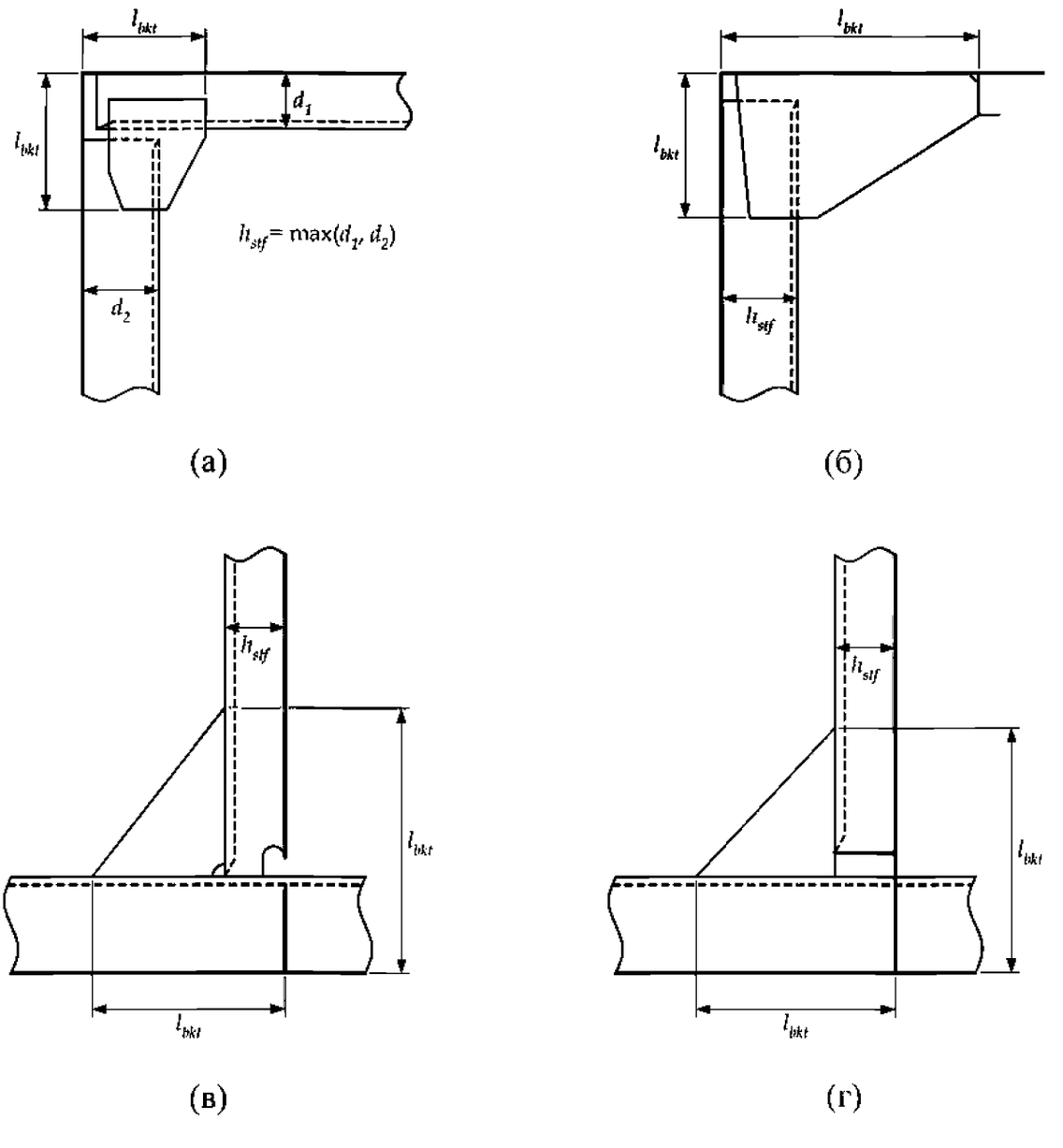
3.2.3.4 Для обеспечения неизменного положения концов балки должны быть установлены кницы по концам разрезных элементов основного набора, исключая случаи, предусмотренные в *3.2.4*. Концевые кницы должны иметь длину сторон l_{bkt} не менее чем:

$l_{bkt} = c_{bkt}\sqrt{\dfrac{Z_{rl\text{-}net}}{t_{bkt\text{-}net}}}$ мм, но не менее чем:

1,8 высоты стенки ребра жесткости для соединений, где конец стенки ребра жесткости подкреплен, и кница приварена в одной плоскости со стенкой ребра жесткости – см. *рис. 4.3.1(в)*;

2,0 для других случаев – см. *рис. 4.3.1*,

Рис. 4.3.1
Длина стороны кницы



где c_{bkt} 65 для книц с фланцем или ребром, подкрепляющим кромку;
70 для книц без фланца или ребра, подкрепляющего кромку;
$Z_{rl\text{-}net}$ момент сопротивления сечения ребра жесткости нетто согласно правилам, см^3. Для случая соединения двух ребер жесткости нет необходимости принимать его больше, чем для меньшего из них;
$t_{bkt\text{-}net}$ минимальная толщина кницы нетто согласно *3.2.3.3*.

3.2.3.5 Соотношения размеров и подкрепление кромок книц должны соответствовать требованиям *раздела 10/2.4*. Если требуется ребро, подкрепляющее кромку кницы, то высота стенки ребра жесткости d_w должна быть не менее чем:

$$d_w = 45\left(1 + \frac{Z_{rl\text{-}net}}{2000}\right) \text{ мм, но не менее 50 мм,}$$

где $Z_{rl\text{-}net}$ момент сопротивления сечения ребра жесткости нетто согласно правилам, см^3. Для случая соединения двух ребер жесткости нет необходимости принимать его больше, чем для меньшего из них.

3.2.4 Бескничные соединения

3.2.4.1 Местные подкрепления, например, продольные элементы, бимсы, шпангоуты и стойки переборок, образующие часть конструкции корпуса должны, как правило, соединяться по своим концам в соответствии с требованиями *3.2.2* и *3.2.3*.

3.2.4.2 Если принимаются альтернативные соединения, то предлагаемые конструкции подлежат специальному рассмотрению.

3.2.4.3 Конструкция концевых соединений и их опорных конструкций должен быть таким, чтобы обеспечить достаточное сопротивление повороту и смещению соединения.

3.2.5 Концы балок, срезанные на ус

3.2.5.1 Ребра жесткости с концами, срезанными на ус, могут применяться там, где динамические нагрузки незначительны, и возникновение вибрации считается маловероятным, т.е. конструкция не располагается в кормовой части и вблизи двигателей или генераторов при условии, что толщина нетто обшивки $t_{p\text{-}net}$, поддерживаемой ребром жесткости, не менее, чем:

$$t_{p\text{-}net} = c_1 \sqrt{\left(1000\,l - \frac{s}{2}\right)\frac{sPk}{1000}} \text{ мм,}$$

где l пролет ребра жесткости, м;
s шпация ребра жесткости согласно *2.2*, мм;
P расчетное давление для ребра жесткости для рассматриваемой совокупности расчетных нагрузок, кН/м^2. Совокупности расчетных нагрузок и метод получения расчетного давления должны приниматься в соответствии со следующими критериями, которые определяют совокупность критериев приемлемости, подлежащих использованию:
табл. 8.2.5 в районе грузовых танков;
раздел 8/3.9.2.2 в районе в нос от носового грузового танка и в кормовой оконечности;
раздел 8/4.8.1.2 в машинном помещении;
k коэффициент, учитывающий наличие стали повышенной прочности согласно *разделу 6/1.1.4*;
c_1 коэффициент рассматриваемой совокупности расчетных нагрузок, принимаемый:
= 1,2 для совокупности критериев приемлемости AC1,
= 1,0 для совокупности критериев приемлемости AC2.

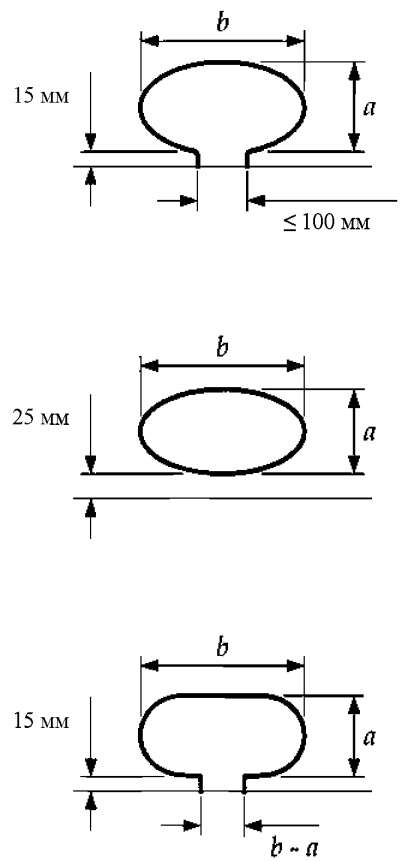
3.2.5.2 Кромки книц и срезанные на ус концы элементов должны, как правило, не доводится до смежного элемента на 25 мм. Наибольшее расстояние не должно превышать 40 мм, если кница или элемент не поддерживаются другим элементом с противоположной стороны обшивки. Особое внимание следует обратить на скошенный конец элемента, применяя угол не более 30°. Высота кромки кницы или уса элемента обычно не должна превышать их толщины, но не должна быть менее 15 мм.

3.2.5.3 Концевые крепления элементов, не несущих нагрузки, могут быть срезаны на ус. Угол скоса не должен превышать 30° и обычно не доходить на 50 мм до смежного элемента, если этот конец не поддерживается другим элементом с противоположной стороны обшивки. Высота кромки обычно не должна превышать 15 мм.

3.2.6 Отверстия для воздуха, сливные отверстия и дугообразные вырезы

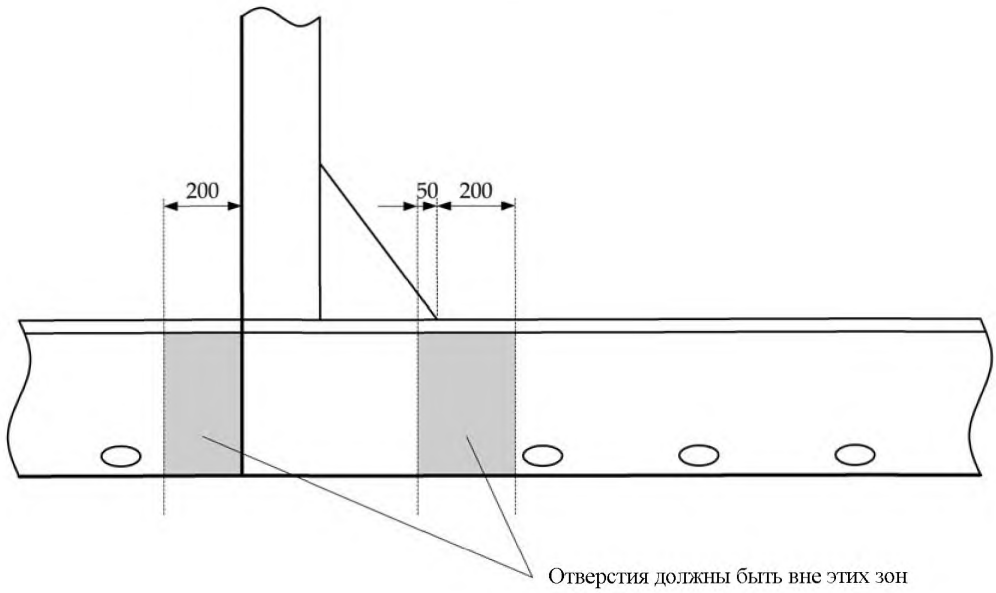
3.2.6.1 Отверстия для воздуха, сливные отверстия, дугообразные вырезы и сборочные стыки блоков должны находиться на расстоянии не менее 200 мм от кромок концевых книц, концевых соединений и других районов высокой концентрации напряжений, измеренном вдоль длины ребра жесткости в направлении середины пролета, и не менее 50 мм, измеренном вдоль длины в противоположном направлении – см. *рис. 4.3.2(б)*. В районах, где касательное напряжение меньше 60 % допустимого предела, допускаются альтернативные конструктивные решения. Отверстия должны быть скругленными. На *рис. 4.3.2(а)* показано несколько примеров отверстий для воздуха, сливных отверстий и дугообразных вырезов. Обычно соотношение *a/b*, согласно *рис. 4.3.2(а)*, должно быть 0,5 – 1,0. В районах, восприимчивых к усталости, может потребоваться дополнительное рассмотрение в отношении деталей и устройства отверстий и дугообразных вырезов.

Рис. 4.3.2(а)
Примеры отверстий для воздуха, сливных отверстий и дугообразных вырезов



Примечание
Детали, показанные на рисунке, предназначены только для примера.

Рис. 4.3.2(б)
Местонахождение отверстий для воздуха и сливных отверстий



3.2.7 Специальные требования

3.2.7.1 Близко расположенные дугообразные вырезы или сливные отверстия, т.е. где расстояние между дугообразными вырезами/проточными отверстиями меньше двойной ширины *b* согласно *рис. 4.3.2(а)*, не допускаются в продольных связях, обеспечивающих общую прочность, или в пределах 20 % пролета ребра жесткости, измеренного от его конца. Широко расположенные отверстия для воздуха или сливные отверстия могут быть допущены при условии, что они имеют эллиптическую или эквивалентную форму в целях минимизации концентрации напряжений и находятся в стороне от сварного соединения.

3.3 Окончание главных несущих элементов

3.3.1 Общие положения

3.3.1.1 Главные несущие элементы должны быть спроектированы так, чтобы обеспечить неизменную прочность. Следует избегать резких изменений высоты или поперечного сечения. Главные несущие элементы в грузовых танках должны образовывать непрерывную опорную линию и, где возможно, замкнутую кольцевую систему.

3.3.1.2 Конструктивные элементы должны иметь достаточную поперечную устойчивость и подкрепление стенки, и их конструкция должна быть такой, чтобы минимизировать наличие жестких точек и других источников концентрации напряжений. Отверстия должны иметь скругленные углы и должны быть расположены с учетом распределения напряжений и устойчивости панели.

3.3.2 Концевое соединение

3.3.2.1 Главные несущие элементы должны иметь достаточное закрепление концов с помощью книц или равноценных конструкций. Конструкция концевых соединений и их опор должна обеспечивать достаточное противодействие повороту и смещению соединения и эффективное распределение нагрузки со стороны конструктивного элемента.

3.3.2.2 Кницы обычно выполняются по радиусу или имеют скругленные углы по кромкам. Свободные кромки книц должны иметь подкрепления. Размеры и детали – см. *3.3.3.*

3.3.2.3 Если главные несущие элементы подвержены сосредоточенным нагрузкам, то может потребоваться дополнительное подкрепление, особенно если эти нагрузки не находятся в плоскости стенки элемента.

3.3.2.4 Как правило, концы главных несущих элементов или соединения между главными несущими элементами, образующими кольцевые системы, должны иметь кницы. Бескничные соединения допустимы при наличии надежной опоры для смежных свободных поясков.

3.3.3 Кницы

3.3.3.1 Как правило, стороны книц, соединяющих главные несущие элементы, не должны быть меньше высоты стенки элемента, и не требуется принимать их более 1,5 высоты стенки. Обе стороны кницы должны быть приблизительно одинаковой длины. Толщина кницы должна, как правило, быть не менее толщины листа стенки балки.

3.3.3.2 Для кольцевой системы, в которой концевая кница является частью стенок конструктивных элементов, и свободный поясок тянется непрерывно вдоль кромок элементов и кницы, полная площадь наибольшего свободного пояска должна сохраняться до середины кницы и постепенно сужаться до меньших свободных поясков. Стыки свободных поясков должны быть в стороне от радиусных концов.

3.3.3.3 Там, где широкий свободный поясок стыкуется с более узким, скос не должен, как правило, превышать соотношение 1:4. Если толстый свободный поясок стыкуется с более тонким, и разница в толщине свыше 4 мм, уменьшение толщины не должно превышать соотношение 1:3.

3.3.3.4 Свободные пояски книц (типичные кницы аналогичные показанным на *рис. 4.2.7(б)*) должны иметь площадь поперечного сечения нетто $A_{f\text{-}net}$ не менее чем:

$$A_{f\text{-}net} = l_{bkt\text{-}edge}\, t_{bkt\text{-}net} \text{ см}^2,$$

где $l_{bkt\text{-}edge}$ длина свободной кромки кницы, м. Для книц с криволинейной кромкой длина свободной кромки кницы может приниматься как длина касательной к середине свободной кромки кницы. Если $l_{bkt\text{-}edge}$ больше 1,5 м, то 40 % площади свободного пояска должно приходиться на ребро жесткости, установленное параллельно свободной кромке на расстоянии не более 0,15 м;

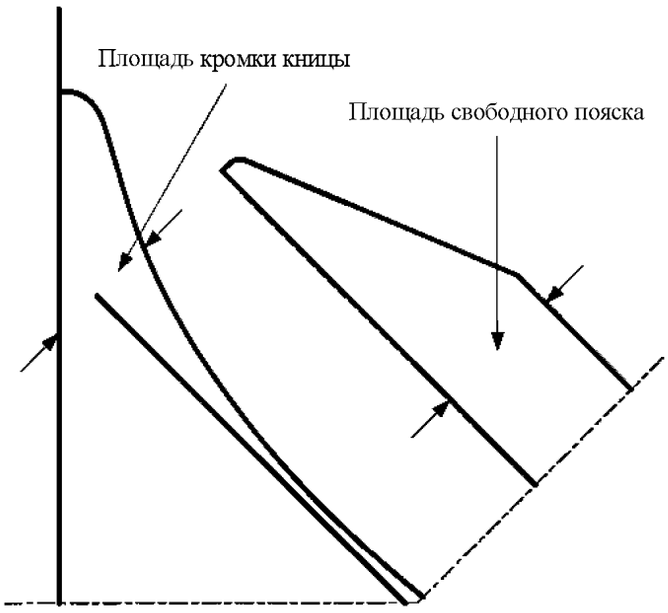
$t_{bkt\text{-}net}$ минимальная толщина кницы нетто согласно *3.2.3.3*, мм.

3.3.4 Кромка кницы

3.3.4.1 Кромки книц не должны находиться на неподкрепленной обшивке. Влияние надрезов в районе кромки кницы может быть снижено путем выполнения кромки кницы вогнутой или сведения ее на конус. Как правило, высота кромки не должна превышать его толщину, но не должна быть менее 15 мм. Концевые кницы больших главных несущих элементов должны иметь плавные окончания по нижней кромке. Если какая-либо концевая кница имеет свободный поясок, то он должна быть срезан на ус под углом не более 30°.

3.3.4.2 Если главные несущие элементы спроектированы из стали повышенной прочности, то для минимизации концентрации напряжений особое внимание следует обратить на конструкцию кромок концевых книц. Срезанные на ус полки, которые привариваются на свободную кромку книц главного несущего элемента, должны быть продолжены по радиальной части кромки кницы и срезаны с конусностью не выше, чем 1:3. Если срезанные на ус свободные пояски приваривают-ся рядом со свободной кромкой книц главного несущего элемента в конце срезанной на ус части должна быть обеспечена достаточная площадь поперечного сечения концевой кницы. Как правило, эта площадь, измеренная перпендикулярно к свободному пояску, не должна быть менее 60 % полной площади поперечного сечения свободного пояска – см. *рис. 4.3.3.*

Рис. 4.3.3
Конструкция кромки кницы



Примечание
Показанное на рисунке служит только для иллюстрации текста и не предназначено для использования при проектировании.

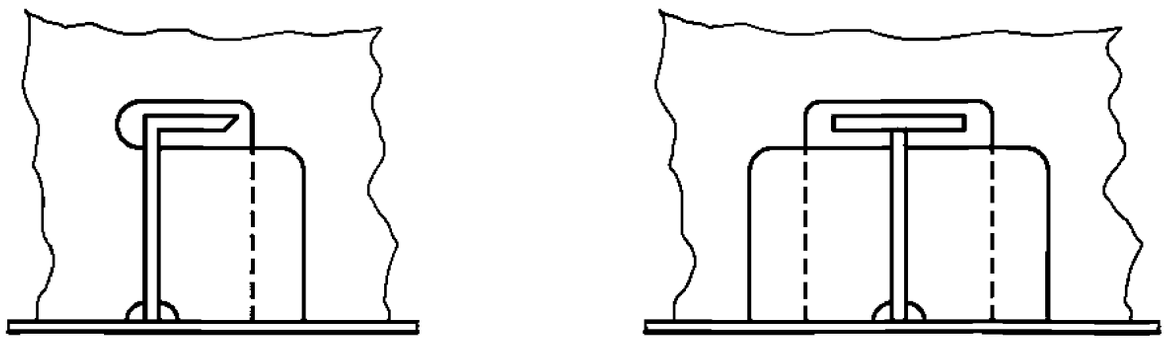
3.4 Пересечения непрерывных элементов основного набора и главных несущих элементов

3.4.1 Общие положения

3.4.1.1 Вырезы для прохода ребер жесткости через стенку главного несущего элемента и соответствующие конструкции планок должны проектироваться с целью минимизации концентрации напряжений по периметру отверстия и на присоединенных ребрах жесткости балки.

3.4.1.2 Вырезы в районе окончаний перекрестных элементов и флоров под трапецеидальной опорой переборки или в районах высоких напряжений должны быть снабжены планками наибольшего размера – см. *рис. 4.3.4*.

Рис. 4.3.4
Планки для вырезов в районах высоких напряжений



3.4.1.3 Заделки должны устанавливаться на вырезы, когда необходимо соответствие требованиям *3.4.3*, и в районах значительной концентрации напряжений, например, в районе нижней кромки главного несущего элемента – см. типичные конструкции на *рис. 4.3.5*.

3.4.1.4 Когда в нижеуказанных местах рассчитанное нормальное напряжение σ_w в ребре жесткости стенки главного несущего элемента согласно *3.4.3.5* превышает 80 % допустимого значения, в районе опоры ребра жесткости стенки главного несущего элемента должна быть предусмотрена кница со скругленной свободной кромкой:

а) соединение с продольными балками наружной обшивки ниже максимальной осадки по условиям прочности T_{sc};
б) соединение с продольными балками двойного дна.

Кница со скругленной свободной кромкой не требуется на пересечении с водонепроницаемыми переборками, если установлена подкрепляющая кница, или если стенка главного несущего элемента приварена к свободному пояску ребра жесткости. Кница со скругленной свободной кромкой должна иметь вырез, аналогичный показанному на *рис. 4.3.6(в)*.

3.4.2 Детали вырезов

3.4.2.1 Вырезы должны иметь скругленные углы, и радиус скругления должен быть как можно больше – как минимум 20 % ширины выреза или 25 мм, смотря, что больше, но не более 50 мм.

3.4.3 Соединение между главными несущими элементами и пересекающимися ребрами жесткости (элементами основного набора)

3.4.3.1 Площади поперечных сечений соединений должны определяться исходя из доли нагрузки, передаваемой через каждый элемент, учитывая соответствующее допускаемое напряжение.

3.4.3.2 Полная нагрузка W, передаваемая через соединение на главный несущий элемент, получается по формуле:

$$W = PS\left(S - \frac{s}{2000}\right)10^{-3} \quad \text{кН},$$

где P расчетное давление для ребра жесткости для рассматриваемой комбинации расчетной нагрузки, кН/м². Комбинации расчетной нагрузки, метод получения расчетного давления и применимая совокупность критериев приемлемости должны приниматься в соответствии со следующими критериями, которые определяют применяемую совокупность критериев приемлемости:
Табл. 8.2.5 в районе грузовых танков;
Раздел 8/3.9.2.2 в районе в нос от носового грузового танка;
Раздел 8/3.9.2.2 в кормовой оконечности;
Раздел 8/4.8.1.2 в машинном помещении;
Раздел 8/6.2.4.1 при воздействии нагрузок от ударов жидкости о стенки танка;
Раздел 8/6.3.5.1 при воздействии нагрузок от днищевого слеминга;
Раздел 8/6.4.5.1 при воздействии нагрузок от ударов волн в развал носовой оконечности;
S шпация главных несущих элементов согласно *разделу 4/2.2*, м;
s шпация ребер жесткости согласно *разделу 4/2.2*, мм.

Для ребер жесткости, имеющих разную шпацию главных несущих элементов S и/или разное давление P с каждой стороны главного несущего элемента, по обеим сторонам должна прикладываться средняя нагрузка, например, вертикальные ребра жесткости поперечной переборки.

3.4.3.3 Нагрузка W_1, передаваемая через соединение, работающее на срез, должна приниматься как:

$$W_1 = W\left(\alpha_a + \frac{A_{1-net}}{4 f_c A_{w-net} + A_{1-net}}\right) \quad \text{кН}$$

$W_1 = W$ если ребро жесткости стенки не соединено с пересекающимся ребром жесткости,

где W полная нагрузка согласно *3.4.3.2*, кН;

α_a соотношение размеров для пластины – не должно приниматься более 0,25,

$$= \frac{s}{1000S};$$

S шпация главного несущего элемента, м;

s шпация ребра жесткости, мм;

$A_{1\text{-}net}$ эффективная площадь среза нетто соединения – должна приниматься как сумма элементов соединения: $A_{1d\text{-}net} + A_{1c\text{-}net}$ см^2;
для случая соединения с прорезью типа щели площадь $A_{1\text{-}net}$:
$A_{1\text{-}net} = 2l_d t_{w\text{-}net}\, 10^{-2}$ см^2;
для случая соединения с двухсторонними заделками или планками площадь $A_{1\text{-}net}$:
$A_{1\text{-}net} = 2f_1 l_c t_{c\text{-}net}\, 10^{-2}$ см^2;

$A_{1d\text{-}net}$ площадь среза соединения нетто, исключая заделку или планку согласно следующей формуле и *рис. 4.3.5*:
$A_{1d\text{-}net} = l_d t_{w\text{-}net}\, 10^{-2}$ см^2;

l_d длина непосредственного соединения ребра жесткости со стенкой главного несущего элемента, мм;

$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки главного несущего элемента, мм;

$A_{1c\text{-}net}$ площадь среза соединения нетто, включая заделку или планку или согласно следующей формуле и *рис. 4.3.5*:
$A_{1c\text{-}net} = f_1 l_c t_{c\text{-}net}\, 10^{-2}$ см^2;

l_c длина соединения между заделкой или планкой и главным несущим элементом, мм;

$t_{c\text{-}net}$ толщина нетто заделки или планки – не должна приниматься больше толщины стенки примыкающего главного несущего элемента, мм;

f_1 коэффициент жесткости при срезе
= 1,0 для ребер жесткости с симметричным поперечным сечением,
= 140/w для ребер жесткости с несимметричным поперечным сечением – не должен приниматься более 1,0;

w ширина выреза для ребра жесткости с несимметричным поперечным сечением, измеренная от стенки ребра жесткости, примыкающей к вырезу, согласно *рис. 4.3.5*, мм;

$A_{w\text{-}net}$ эффективная площадь нетто поперечного сечения ребра жесткости стенки главного несущего элемента в районе соединения, включая подкрепляющую кницу при ее наличии, см^2 – см. *рис. 4.3.6*. Если ребро жесткости стенки главного несущего элемента включает окончание со скруглением к концу опоры или окончание со скруглением к концу опоры и кромки, то площадь $A_{w\text{-}net}$ должна измеряться в суженной части соединения – см. *рис. 4.3.6*;

f_c коэффициент нагрузки для планки:
для пересекающихся ребер жесткости симметричного поперечного сечения

$= 1{,}85$ при $A_{w\text{-}net} \le 14$;
$= 1{,}85 - 0{,}0441(A_{w\text{-}net} - 14)$ при $14 < A_{w\text{-}net} \le 31$;
$= 1{,}1 - 0{,}013(A_{w\text{-}net} - 31)$ при $31 < A_{w\text{-}net} \le 58$;
$= 0{,}75$ при $A_{w\text{-}net} > 58$;

для пересекающихся ребер жесткости несимметричного поперечного сечения

$$= 0{,}68 + 0{,}0172\frac{l_s}{A_{w\text{-}net}},$$

где $l_s = l_c$ для соединения с главным несущим элементом с помощью одной заделки или планки;
$= l_d$ для непосредственного соединения с главным несущим элементом с одной стороны;
= среднее значение длины соединения с обеих сторон, т.е. для случая заделки или планки совместно с непосредственным соединением, $l_s = 0{,}5(l_c + l_d)$.

3.4.3.4 Нагрузка W_2, передаваемая через ребро жесткости стенки главного несущего элемента, должна приниматься как:

$$W_2 = W\left(1 - \alpha_a - \frac{A_{1\text{-}net}}{4f_c A_{w\text{-}net} + A_{1\text{-}net}}\right) \text{ кН},$$

где W полная нагрузка согласно *3.4.3.2*, кН;

α_a соотношение размеров для пластины

$$= \frac{s}{1000S};$$

S шпация главного несущего элемента, м;

s шпация ребра жесткости, мм;

$A_{1\text{-}net}$ эффективная площадь среза соединения нетто согласно *3.4.3.3*, см^2;

f_c коэффициент нагрузки для планки согласно *3.4.3.3*;

$A_{w\text{-}net}$ эффективная площадь нетто поперечного сечения ребра жесткости, подкрепляющего стенку главного несущего элемента, согласно *3.4.3.3*, см^2.

3.4.3.5 Значения $A_{w\text{-}net}$, $A_{wc\text{-}net}$ и $A_{1\text{-}net}$ должны быть такими, чтобы рассчитанные напряжения удовлетворяли следующим критериям:

для соединения с ребром жесткости стенки главного несущего элемента в стороне от сварного шва

$\sigma_w \leq \sigma_{perm}$;

для соединения с ребром жесткости стенки главного несущего элемента, в районе сварного шва:

$\sigma_{wc} \leq \sigma_{perm}$;

для соединения, работающего на сдвиг, со стенкой главного несущего элемента:

$\tau_w \leq \tau_{perm}$,

где σ_w нормальное напряжение в ребре жесткости стенки главного несущего элемента при минимальной площади кницы в стороне от сварного соединения

$$= \frac{10W_2}{A_{w\text{-}net}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{wc} нормальное напряжение в ребре жесткости стенки главного несущего элемента в районе сварного соединения

$$= \frac{10W_2}{A_{wc\text{-}net}} \text{ Н/мм}^2;$$

τ_w касательное напряжение для соединения, работающего на сдвиг, с главным несущим элементом

$$= \frac{10W_1}{A_{1\text{-}net}} \text{ Н/мм}^2;$$

$A_{w\text{-}net}$ эффективная площадь нетто поперечного сечения ребра жесткости стенки главного несущего элемента, согласно *3.4.3.3*, см^2;

$A_{wc\text{-}net}$ эффективная площадь нетто ребра жесткости стенки в районе сварного шва согласно *рис. 4.3.6*, см^2;

$A_{1\text{-}net}$ эффективная площадь сдвига соединения нетто согласно *3.4.3.3*, см^2;

W_1 нагрузка, передаваемая через соединение, работающее на сдвиг, согласно *3.4.3.3*, кН;

W_2 нагрузка, передаваемая через ребро жесткости стенки главного несущего элемента согласно *3.4.3.4*, кН;

σ_{perm} допускаемое нормальное напряжение, приведенное в *табл. 4.3.1* для применимых критериев приемлемости, Н/мм^2 – см. *3.4.3.2*;

τ_{perm} допускаемое касательное напряжение, приведенное в *табл. 4.3.1* для применимых критериев приемлемости, Н/мм^2 – см. *3.4.3.2*.

3.4.3.6 Если дополнительно к ребру жесткости стенки главного несущего элемента устанавливается подкрепляющая кница, то она должна располагаться с противоположной стороны и в одной плоскости с указанным ребром жесткости. Длина стороны кницы должна быть не менее высоты ребра жесткости стенки, и ее площадь поперечного сечения нетто по шейке кницы должна включаться в расчет $A_{w\text{-}net}$ – см. *рис. 4.3.6*.

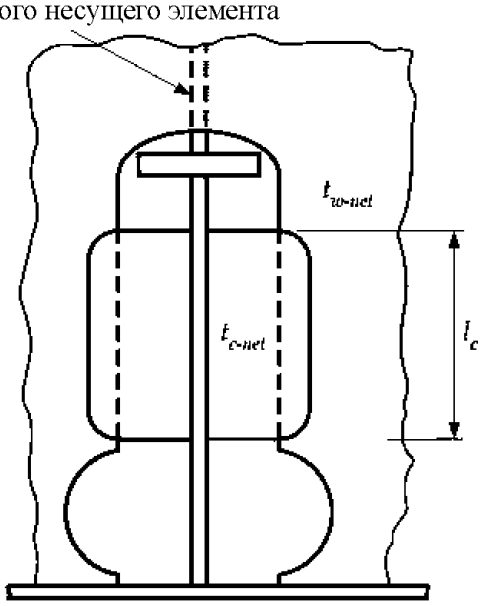
3.4.3.7 Соединения внахлестку ребер жесткости стенки главного несущего элемента или триппинг брекет с элементами основного набора в районе грузовых танков не допускаются, например, соединения внахлестку между поперечными и продольными местными подкреплениями.

3.4.3.8 Составные ребра жесткости, имеющие свободный поясок, приваренный к боковине стенки, оставляя свободной кромку последней, не рекомендуются для продольных элементов бортовой обшивки и продольных переборок. Если такие профили соединяются с ребром жесткости стенки главного несущего элемента, применяется симметричная конструкция соединения с поперечными элементами. Это может быть сделано путем установки подкрепляющей кницы с противоположной стороны стенки поперечного элемента или переборки. В районе грузовых танков ребро жесткости стенки главного несущего элемента, и подкрепляющие кницы должны привариваться встык к стенке пересекающегося ребра жесткости.

3.4.3.9 Если ребро жесткости стенки главного несущего элемента, параллельно стенке пересекающегося ребра жесткости, но не соединяется с ним, то такое смещенное ребро может располагаться, как показано на *рис. 4.3.7*. Это смещенное ребро должно располагаться как можно ближе к кромке прорези – см. также *рис. 4.3.7*. Конец смещенного ребра должен быть скошен и скруглен.

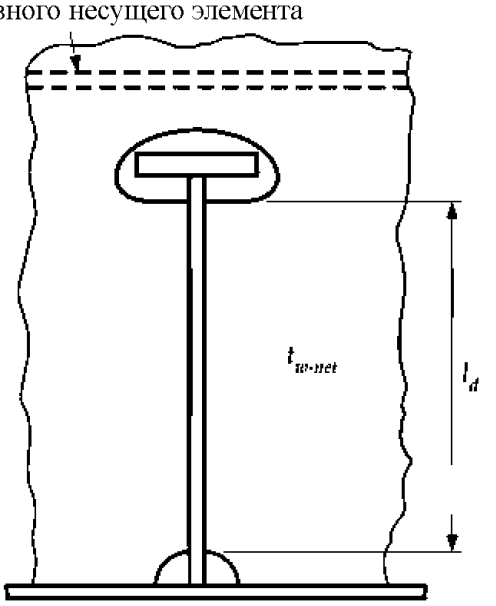
Рис. 4.3.5
Симметричные и несимметричные вырезы

Ребро жесткости стенки главного несущего элемента



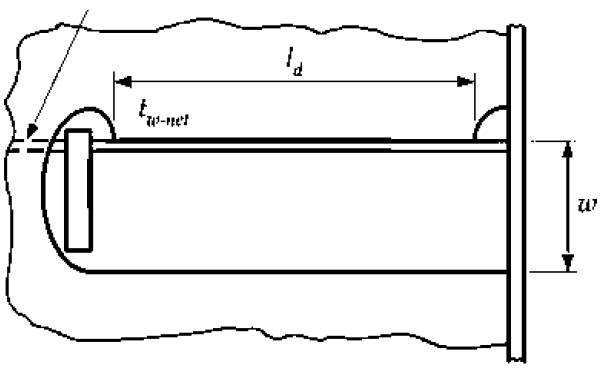
а) две заделки или планки

Ребро жесткости стенки главного несущего элемента



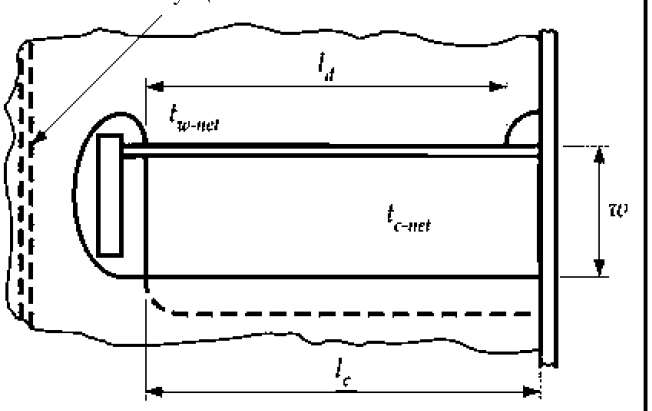
б) соединение с прорезью в виде щели

Ребро жесткости стенки главного несущего элемента



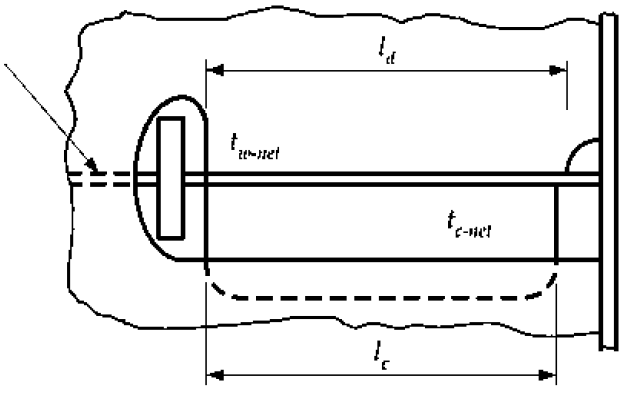
в) непосредственное соединение без заделки или планки

Ребро жесткости стенки главного несущего элемента



г) заделка или планка и непосредственное соединение

Ребро жесткости стенки главного несущего элемента

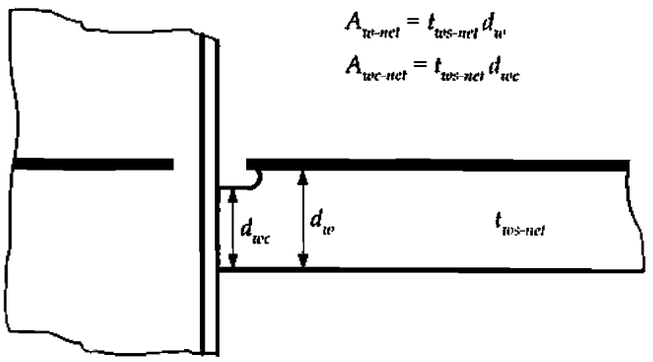


д) заделка или планка и непосредственное соединение

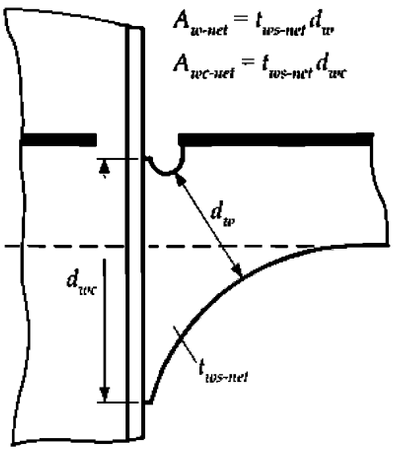
Примечание

Сведения, представленные на рисунке, используются только для иллюстрации условных обозначений и определений и не предназначены для использования при проектировании.

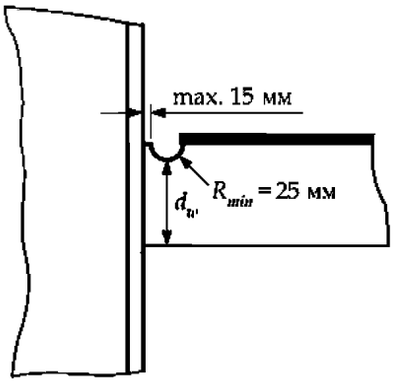
Рис. 4.3.6
Детали ребер жесткости стенки главного несущего элемента



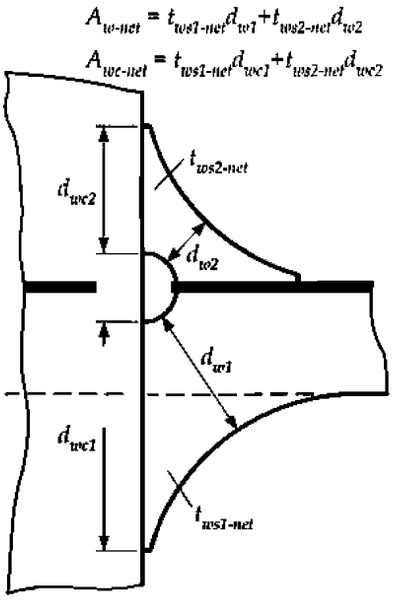
а) прямое примыкание без кницы



б) притупление и скругление



в) прорезь в месте притупления



г) симметричные скругленные кницы с притуплением

где $t_{ws\text{-}net}$, $t_{ws1\text{-}net}$ и $t_{ws2\text{-}net}$ — толщина нетто ребра жесткости/подкрепляющей кницы стенки главного несущего элемента, мм;

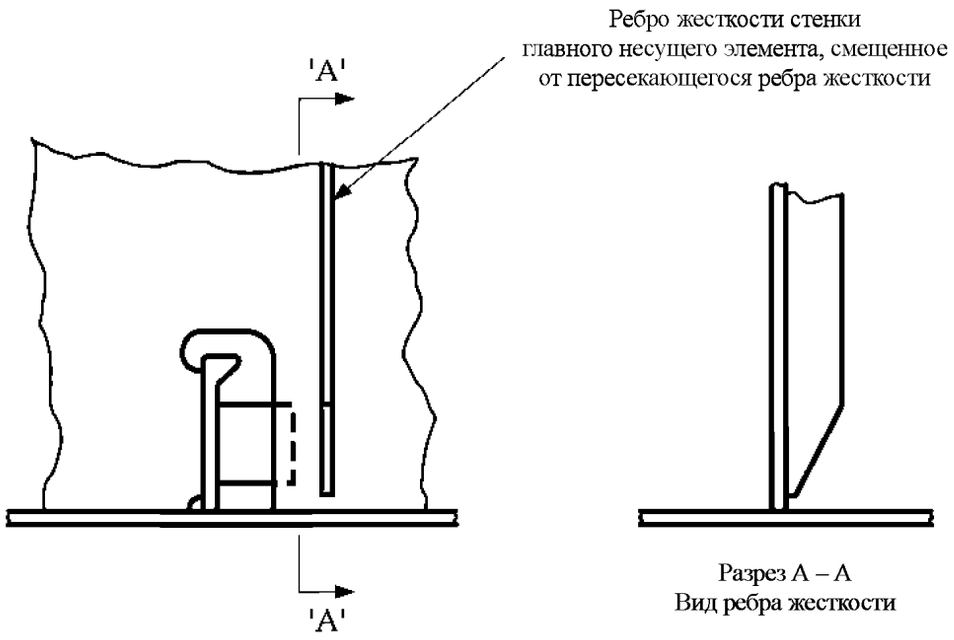
d_w, d_{w1} и d_{w2} — минимальная высота ребра жесткости/подкрепляющей кницы стенки главного несущего элемента, мм;

d_{wc}, d_{wc1} и d_{wc2} — длина соединения ребра жесткости/подкрепляющей кницы стенки главного несущего элемента с ребром жесткости элемента основного набора, мм.

Примечание

За исключением конкретных размеров (см. *3.4.1.4*), сведения, представленные на рисунке, используются только для иллюстрации условных обозначений и определений и не предназначены для использования при проектировании.

Рис. 4.3.7
Смещенное ребро жесткости, подкрепляющее стенку главного несущего элемента



3.4.3.10 Альтернативные конструкции подлежат специальному рассмотрению с учетом их способности передавать нагрузку с равноценной эффективностью. Должны быть представлены подробные расчеты и /или методы испытаний и результаты.

3.4.3.11 Калибр угловых сварных швов должен рассчитываться согласно *разделу 6/5* с учетом коэффициентов сварки, приведенных в *табл. 4.3.2*. Для сварки в районе соединения, работающего на сдвиг, калибр шва должен быть не менее требуемого для листа стенки главного несущего элемента в рассматриваемом месте.

Таблица 4.3.1

Допускаемые напряжения для соединений ребер жесткости с главными несущими элементами

Объект	Нормальное напряжение, σ_{perm}, Н/мм²			Касательное напряжение, τ_{perm}, Н/мм²		
	Совокупность критериев приемлемости – см. *3.4.3.2*			Совокупность критериев приемлемости – см. *3.4.3.2*		
	AC1	AC2	AC3	AC1	AC2	AC3
1	2	3	4	5	6	7
Ребро жесткости стенки главного несущего элемента	$0{,}83\sigma_{yd}^{(3)}$	σ_{yd}	σ_{yd}	–	–	–
Соединение ребра жесткости стенки главного несущего элемента с пересекающимся ребром жесткости в районе сварного соединения:						
двойной непрерывный угловой шов	$0{,}58\ \sigma_{yd}^{(3)}$	$0{,}70\ \sigma_{yd}^{(3)}$	σ_{yd}	–	–	–
шов с неполным проваром	$0{,}83\ \sigma_{yd}^{(2)(3)}$	$\sigma_{yd}^{(2)(3)}$	σ_{yd}	–	–	–

Продолжение табл. 4.3.1

1	2	3	4	5	6	7
Соединение ребра жесткости стенки главного несущего элемента с пересекающимся ребром жесткости в районе сварного соединения внахлестку	0,50 σ_{yd}	0,60 σ_{yd}	σ_{yd}	–	–	–
Соединение, работающее на сдвиг, включая заделки или планки: одностороннее двухстороннее	 – –	 – –	 – –	 0,71 τ_{yd} 0,83 τ_{yd}	 0,85 τ_{yd} τ_{yd}	 τ_{yd} τ_{yd}

где τ_{perm} допускаемое касательное напряжение, Н/мм^2;
σ_{perm} допускаемое нормальное напряжение, Н/мм^2;
σ_{yd} минимальный заданный предел текучести материала, Н/мм^2;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2.$$

Примечание

1. Расчет напряжений в полосовых конструктивных элементах должен выполняться на основе толщин нетто, в то время как полные толщины должны использоваться при оценках прочности сварных швов – см. *3.4.3.11*.

2. Притупление кромки не должно превышать одну треть полной толщины ребра жесткости стенки главного несущего элемента.

3. Допускаемые напряжения могут быть увеличены на 5 % если в районе основания ребра жесткости стенки главного несущего элемента установлена кница со скругленной свободной кромкой.

Таблица 4.3.2

Коэффициенты сварки для соединений ребер жесткости с главными несущими элементами

Объект	Коэффициент сварки
Соединение ребра жесткости главного несущего элемента с пересекающимся ребром жесткости	$0{,}6\,\sigma_w / \sigma_{perm}$ не должно быть меньше 0,38
Соединение, работающее на сдвиг, включая заделку или планку	0,38
Соединение, работающее на сдвиг, включая заделку или планку, если ребро жесткости стенки главного несущего элемента не соединено с пересекающимся ребром жесткости	$0{,}6\,\tau_w / \tau_{perm}$ не должно быть меньше 0,44

где τ_w касательное напряжение согласно *3.4.3.5*;
σ_w см. *3.4.3.5*;
τ_{perm} допускаемое касательное напряжение, Н/мм^2 – см. *табл. 4.3.1*;
σ_{perm} допускаемое нормальное напряжение, Н/мм^2 – см. *табл. 4.3.1*.

3.5 Отверстия

3.5.1 Общие положения

3.5.1.1 Отверстия должны иметь скругленные углы.

3.5.1.2 Следует избегать устройства лазов, вырезов для облегчения конструкции и других подобных отверстий в районе сосредоточенных нагрузок и районах высоких перерезывающих сил. В частности, следует избегать устройства лазов и подобных отверстий в районах высоких касательных напряжений, если только напряжения в обшивке и характеристики устойчивости панели не рассчитаны и не признаны приемлемыми. Районы высоких напряжений включают районы:

а) в вертикальных или горизонтальных панелях разделительной переборки в узких кофферда-мах/ переборках с двойной обшивкой в пределах 1/6 их длины от любого конца;
б) во флорах или балках двойного дна вблизи концов пролета;
в) над верхом пиллерса и ниже его основания.
Если предполагаются отверстия большего размера, чем предусмотрено в *3.5.2* или *3.5.3*, то их устройство и необходимая компенсация подлежат специальному рассмотрению.

3.5.2 Лазы и вырезы для облегчения конструкции в секциях одинарного корпуса, не требующие подкрепления

3.5.2.1 Отверстия в стенке высотой не более 25 % высоты стенки и расположенные так, что кромки отстоят от свободного пояска не менее чем на 40 % высоты стенки, обычно не требуют подкреплений. Длина отверстия не должна быть больше высоты стенки или 60 % шпации элементов основного набора, смотря, что больше. Концы отверстий должны быть одинаково удалены от углов вырезов для элементов основного набора.

3.5.3 Лазы и вырезы для облегчения конструкции в секциях двойного корпуса, не требующие подкрепления

3.5.3.1 Если отверстия вырезаны в стенке и расположены вне зоны высоких напряжений, подкрепление таких отверстий не требуется при условии, что высота отверстия не превышает 50 % высоты стенки и оно расположено так, что его кромки достаточно удалены от вырезов для прохода элементов основного набора.

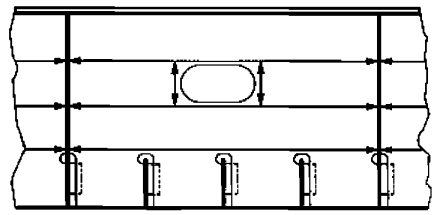
3.5.4 Лазы и вырезы для облегчения конструкции, требующие подкрепления

3.5.4.1 Лазы и вырезы для облегчения конструкции должны быть подкреплены согласно *3.5.3.2* и *3.5.3.3*. Требования к подкреплениям в *3.5.3.2* и *3.5.3.3* могут быть изменены, если альтернативные решения окажутся удовлетворительными в отношении напряжений и устойчивости в соответствии с методами анализа, приведенными в *разделе 9/2*.

3.5.4.2 Стенка балки должна быть специально подкреплена у отверстий, где среднее значение касательного напряжения, определенное с учетом требований *раздела 8* или *раздела 9/2*, больше 50 Н/мм² для совокупности критериев приемлемости АС1 или больше 60 Н/мм² для совокупности критериев приемлемости АС2. Конструкция подкрепления должна обеспечивать устойчивость согласно *разделу 10* при приложенной нагрузке согласно *разделу 8* или *разделу 9/2*.

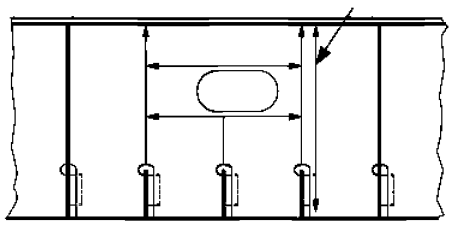
3.5.4.3 На конструктивных элементах, участвующих в общей прочности, ребра жесткости должны устанавливаться вдоль свободных кромок отверстий параллельно вертикальной и горизонтальной осям отверстия. Ребра жесткости могут отсутствовать в одном направлении, если кратчайшая ось менее 400 мм, и в обоих направлениях, если длина обеих осей менее 300 мм. Подкрепление кромки может применяться как альтернатива ребрам жесткости – см. *рис. 4.3.8*.

Рис. 4.3.8
Стенка балки с большими отверстиями

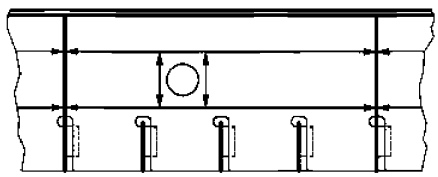


Пример 1

Альтернативное расположение ребер жесткости



Пример 2



Пример 3

3.6 Элементы основного набора

3.6.1 Подкрепление излома обшивки

3.6.1.1 При наличии излома в основном элементе (наружная обшивка, продольная переборка и т.д.) должно быть предусмотрено соответствующее подкрепление излома для передачи поперечной нагрузки. Это подкрепление в виде стенок, книц или профилей должно соединяться с поперечными конструктивными элементами, которым оно должны передавать нагрузку (при сдвиге) – см. *рис. 4.3.9*.

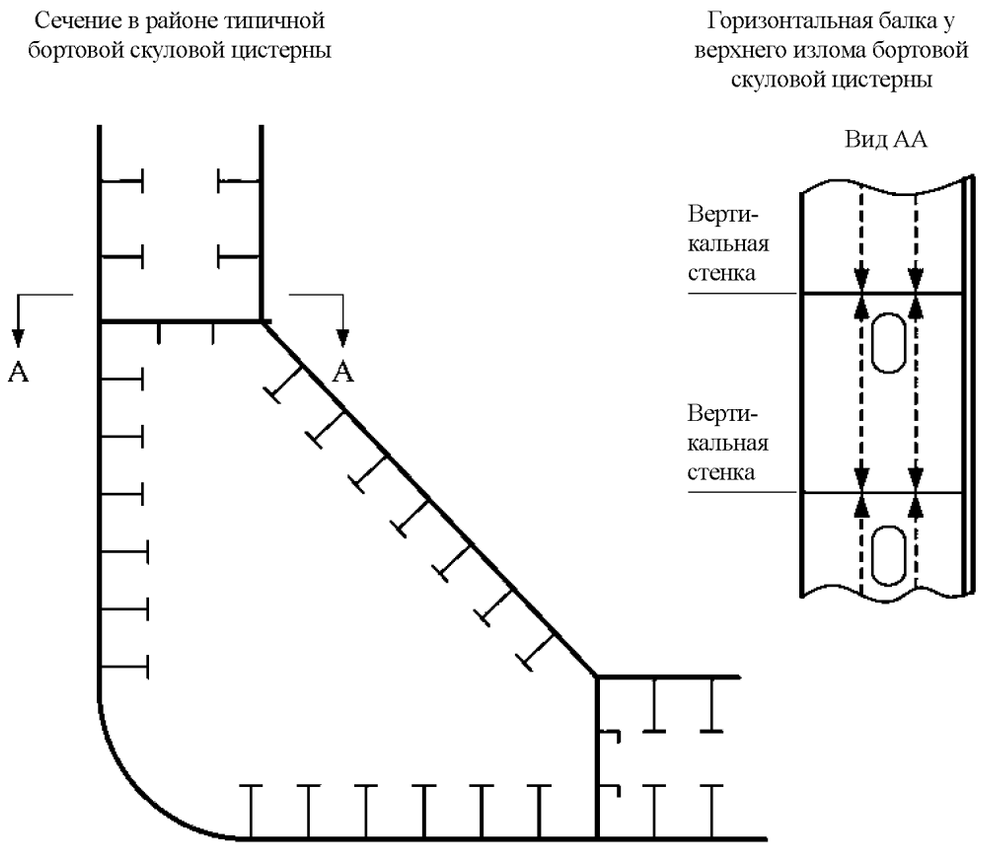
3.6.1.2 Как правило, для продольного слабоизогнутого излома между продольными конструктивными связями выше и ниже излома должны быть установлены тесно расставленные карлингсы поперек излома. Установка карлингсов или других типов подкреплений не требуется в районе слабоизогнутых изломов, таких как излом погиби палубы, которые не подвержены высоким поперечным нагрузкам и/или высоким нагрузкам, действующим в плоскости излома.

3.6.1.3 Обычно расстояние между изломом и подкреплением, указанным в *3.6.1.1*, не должно превышать 50 мм.

3.6.2 Подкрепление отверстий и крепления, связанные со средствами доступа для осмотра

3.6.2.1 Должны быть предусмотрены элементы основного набора с учетом надлежащего расположения и прочности всех креплений к корпусным конструкциям для обеспечения доступа с целью осмотра.

Рис. 4.3.9
Пример подкрепления в районе излома



3.7 Усталостная прочность

3.7.1 Общие положения

3.7.1.1 Конструктивные детали должны быть спроектированы в соответствии с требованиями к усталостной прочности *раздела 9/3*.

РАЗДЕЛ 5. КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА СУДНА

1 Общие положения

1.1 Введение

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Настоящий раздел содержит общие требования к конструкции корпуса судна, которые основаны на национальных и международных правилах – см. *разделы 2/2.1.1* и *3/3.3*.

2 Деление на водонепроницаемые отсеки

2.1 Размещение водонепроницаемых переборок

2.1.1 Общие положения

2.1.1.1 Все суда должны иметь водонепроницаемые переборки, размещенные таким образом, чтобы разделить корпус на водонепроницаемые отсеки в соответствии со следующими требованиями.

2.1.2 Минимальное количество водонепроницаемых переборок и их расположение

2.1.2.1 На всех судах должны быть установлены следующие водонепроницаемые переборки:

а) таранная переборка – см. *2.2.1.1*;
б) ахтерпиковая переборка;
в) переборка с каждого конца машинного отделения.

2.1.2.2 Переборки в районе грузовых танков должны располагаться, по возможности, на одинаковом расстоянии друг от друга.

2.1.2.3 Количество и расположение переборок выбираются с учетом требований к делению на отсеки, непотопляемости и аварийной остойчивости и должны соответствовать требованиям национальных правил.

2.1.2.4 Количество отверстий в переборках должно быть минимальным. Там, где необходимо проникновение через переборки или внутренние палубы для доступа, прокладки трубопроводов, вентиляции, электрических кабелей и т.п., должны быть приняты меры для обеспечения водонепроницаемости. К таранным переборкам применяются дополнительные требования, изложенные в *разделе 8/3.6.2*.

2.2 Положение таранной переборки

2.2.1 Общие положения

2.2.1.1 На всех судах должна быть установлена таранная переборка, высотой до палубы надводного борта. Она должна располагаться на расстоянии между 0,05 L_L или 10 м, смотря, что меньше, и 0,08 L_L в корму от исходной точки (см. *2.2.1.2*), где длина судна по грузовой марке L_L – согласно определению в *разделе 4/1.1.2.1*. Предложения по расположению таранной переборки в корму от 0,08 L_L подлежат специальному рассмотрению.

2.2.1.2 Исходная точка у судов без носового бульба должна приниматься там, где носовая граница L_L совпадает с носовой стороной форштевня, на ватерлинии, по которой измеряется L_L. У судов с носовым бульбом исходная точка принимается на расстоянии x в нос от носовой границы L_L, где расстояние x должно приниматься как наименьшее из:

а) половина расстояния от носовой границы L_L до крайней носовой точки бульба;
б) 0,015 L_L;
в) 3,0 м.

2.2.1.3 Как правило таранная переборка должна располагаться в одной плоскости. Однако она может иметь уступы или выемки при условии, что они находятся в пределах, указанных в *2.2.1.1* и *2.2.1.2*.

2.3 Положение ахтерпиковой переборки

2.3.1 Общие положения

2.3.1.1 Для того, чтобы заключить дейдвудную трубу и гельмпортовую трубу в водонепроницаемый отсек, должна быть предусмотрена ахтерпиковая переборка. Если устройство валопровода делает выгораживание дейдвудной трубы в водонепроницаемый отсек невозможным, то альтернативные схемы подлежат специальному рассмотрению. Специальному рассмотрению подлежит также положение ахтерпиковой переборки на судах, приводимых в движение и/или управляемых с помощью оборудования, которое не требует установки дейдвудной трубы и/или гельмпортовой трубы.

2.3.1.2 Ахтерпиковая переборка может заканчиваться на первой палубе над летней грузовой ватерлинией при условии, что эта палуба водонепроницаема до кормы или до водонепроницаемого трансцевого флора.

3 Устройство двойного корпуса

3.1 Общие положения

3.1.1 Защита грузовых танков

3.1.1.1 Каждое нефтеналивное судно должно иметь танки и пространства с двойным дном и двойными бортами согласно *3.2* и *3.3*. Указанные танки и пространства защищают грузовые танки или пространства и не должны использоваться для перевозки нефтяных грузов.

3.1.2 Вместимость балластных цистерн

3.1.2.1 Вместимость цистерн изолированного балласта должна определяться таким образом, чтобы судно могло безопасно эксплуатироваться при балластных переходах, не прибегая к использованию грузовых танков для водяного балласта. Вместимость балластных цистерн должна быть, по крайней мере, такой, чтобы для любого случая балластировки в любой отрезок рейса, включая случай водоизмещения порожнем плюс только изолированный балласт, осадка и дифферент судна могли отвечать требованиям *3.1.2.2 – 3.1.2.4*.

3.1.2.2 Теоретическая осадка на миделе T_{mid} без учета корректировки на перегиб или прогиб должна быть не менее, чем:

$$T_{mid} = 2{,}0 + 0{,}02L \text{ м},$$

где L длина судна согласно Правилам, м – см. *раздел 4/1.1.1.1*.

3.1.2.3 Осадки на носовом и кормовом перпендикулярах должны соответствовать осадкам, определенным осадкой на миделе, согласно *3.1.2.2*, и с учетом дифферента кормой не выше 0,015L (м).

3.1.2.4 Осадка на кормовом перпендикуляре должна быть не менее требуемой для полного погружения гребного винта(ов).

3.1.3 Ограничение размера и расположения грузовых танков

3.1.3.1 Размер и расположение грузовых танков должны быть такими, чтобы ограничить гипотетический вылив нефти в результате повреждения борта и днища в любом месте по длине судна.

3.2 Двойное дно

3.2.1 Высота двойного дна

3.2.1.1 Высота двойного дна d_{db} должна приниматься как наименьшая из величин:

$$d_{db} = \frac{B}{15} \text{ м, но не менее чем 1,0 м;}$$

$$d_{db} = 2{,}0 \text{ м,}$$

где B теоретическая ширина, м – см. *раздел 4/1.1.3.1.*

3.3 Двойной борт

3.3.1 Ширина двойного борта

3.3.1.1 Минимальная ширина двойного борта w_{ds} должна приниматься как наименьшая из величин:

$$w_{ds} = 0{,}5 + \frac{\text{DWT}}{20000} \text{ м, но не менее чем 1,0 м;}$$

$$w_{ds} = 2{,}0 \text{ м,}$$

где DWT дедвейт судна, т – см. *раздел 4/1.1.14.1.*

4 Разделение помещений

4.1 Разделение грузовых танков

4.1.1 Общие положения

4.1.1.1 Грузовое насосное отделение, грузовые танки, отстойные цистерны и коффердамы должны быть расположены в нос от машинных помещений. Основные посты управления грузовыми операциями, посты управления, жилые и служебные помещения должны располагаться в корму от грузовых танков, отстойных цистерн и помещений, которые отделяют грузовые танки или отстойные цистерны от машинных помещений, но не обязательно в корму от топливных и балластных цистерн.

4.2 Пространства коффердамов

4.2.1 Общие положения

4.2.1.1 Пространства коффердамов должны быть газонепроницаемыми. Если применимо, то требования в отношении доступа для внутреннего осмотра должны соответствовать *5.3.*

5 Устройства для доступа

5.1 Доступ в пространства и в их пределах в районе грузовых танков и в нос от него

5.1.1 Общие положения

5.1.1.1 Доступ в пространства и в их пределах в районе грузовых танков и в нос от него в отношении деталей и устройства отверстий и креплений к корпусным конструкциям должен соответствовать Правилу 3-6 Части А-1 Главы II-1 Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года с Поправками, так как это требуется Администрацией флага. Этот вопрос должен рассматриваться совместно с конструктивными требованиями. Кроме того, должно быть обеспечено соответствие требованиям *5.1.1.2 – 5.1.1.5*.

5.1.1.2 Если имеется коробчатый киль или туннель для трубопроводов, должно быть предусмотрено не менее двух выходов на открытую палубу, расположенных на максимальном расстоянии друг от друга. Коробчатый киль или туннель для трубопроводов не должны продолжаться в машинные помещения. Доступ с кормы в коробчатый киль может быть из насосного отделения. При наличии такого доступа отверстие для доступа из насосного отделения в коробчатый киль должно быть снабжено нефтенепроницаемой планкой или водонепроницаемой дверью. Должна быть обеспечена искусственная вентиляция, и такие пространства должны тщательно вентилироваться перед входом в них. У каждого входа в туннель для трубопроводов должна быть табличка с указанием, что перед каждым входом в туннель вентилятор должен проработать достаточное количество времени. Кроме того, с помощью газоиндикатора следует брать пробы воздуха в туннеле и, при наличии системы инертного газа в грузовых танках, должен быть предусмотрен индикатор кислорода.

5.1.1.3 Если в насосном отделении установлена водонепроницаемая дверь для доступа в коробчатый киль, размеры этой двери должны соответствовать требованиям конкретного классификационного общества и следующим дополнительным требованиям:

а) в дополнение к дистанционному управлению дверью с мостика, последняя должна закрываться вручную снаружи входа в главное насосное отделение. Средства, указывающие открытое/закрытое положение двери, должны быть предусмотрены на мостике и в местном посту управления;

б) на каждом посту управления должно быть прикреплено предупреждение о том, что водонепроницаемая дверь должна быть закрыта при нормальной эксплуатации судна за исключением случаев, когда необходим доступ в туннель для трубопроводов.

5.1.1.4 В каждой горизонтальной балке в вертикальном бортовом балластном пространстве и открытой палубе для спасательных операций должно быть предусмотрено, по крайней мере, одно горизонтальное отверстие для доступа размером в свету 600×800 мм. Если такое отверстие недопустимо по конструктивным соображениям, то допускается размер в свету 600×600 мм.

5.1.1.5 Любые предложения по установке нефтенепроницаемых крышек в переборках грузовых танков на постоянные отверстия для доступа при ремонте/техническом обслуживании должны быть рассмотрены отдельно. Следует обратить внимание на соответствующие национальные правила в отношении таких устройств в части грузовой марки и вылива нефти.

РАЗДЕЛ 6. МАТЕРИАЛЫ И СВАРКА

1 Категории стали

1.1 Судостроительная сталь

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Материалы, применяемые при постройке, должны соответствовать правилам по материалам конкретного классификационного общества. Использование других материалов и соответствующие размеры подлежат специальному рассмотрению.

1.1.2 Прочность

1.1.2.1 Сталь с нормативным минимальным пределом текучести 235 Н/мм² рассматривается как судостроительная сталь нормальной прочности. Сталь с повышенным нормативным минимальным пределом текучести рассматривается как судостроительная сталь повышенной прочности.

1.1.3 Категории материала

1.1.3.1 Категории материала судостроительных сталей обозначаются следующим образом:

а) A, B, D и E обозначают категории стали нормальной прочности;
б) AH, DH и EH обозначают категории стали повышенной прочности.

1.1.4 Коэффициент использования стали высокой прочности

1.1.4.1 Для определения момента сопротивления сечения эквивалентного бруса при использовании судостроительной стали повышенной прочности коэффициент использования такой стали k приведен в *табл. 6.1.1*.

Таблица 6.1.1

Значения k

Нормативный минимальный предел текучести, Н/мм²	k
235	1,00
265	0,93
315	0,78
340	0,74
355	0,72
390	0,68

Примечание
1. Промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией.

1.1.5 Свойства материала в направлении толщины

1.1.5.1 Если в тавровых или крестообразных соединениях применяются сварные швы с частичным или полным проваром и листовой материал подвержен значительной деформации растяжения в направлении перпендикулярном катаной поверхности, следует рассмотреть использование специального материала с нормативными свойствами в направлении толщины в соответствии с правилам по материалам конкретного классификационного общества. Эти стали должны обозначаться на одобренном чертеже как требуемая категория прочности стали с добавлением в конце буквы Z (например, EH36 Z).

1.1.6 Стальные отливки и поковки

1.1.6.1 Стальные отливки и поковки, используемые для изготовления ахтерштевней, рамы руля, баллера руля, кронштейнов гребного вала и других важных конструктивных элементов, должны соответствовать правилам по материалам конкретного классификационного общества.

1.2 Применение стальных материалов

1.2.1 Выбор категории материала

1.2.1.1 Стальные материалы для конкретных мест применения не должны иметь категорию ниже, чем указано в *табл. 6.1.2* для класса материала, указанного в *табл. 6.1.3*.

1.2.2 Применимая толщина

1.2.2.1 При использовании *табл. 6.1.2* и *табл. 6.1.3* категория стали должна соответствовать построечной толщине.

1.2.3 Эксплуатация в районах с низкой температурой воздуха

1.2.3.1 У судов, предназначенных для работы при самой низкой средней суточной температуре воздуха ниже -15 °С (т.е. регулярная работа зимой в водах Арктики и Антарктики) в течение длительных периодов времени, материалы наружных конструкций подлежат специальному рассмотрению.

Таблица 6.1.2

Категории материала

Толщина *t*, мм	Класс материала		
	I	II	III
$t \leq 15$	A, AH	A, AH	A, AH
$15 < t \leq 20$	A, AH	A, AH	B, AH
$20 < t \leq 25$	A, AH	B, AH	D, DH
$25 < t \leq 30$	A, AH	D, DH	D, DH
$30 < t \leq 35$	B, AH	D, DH	E, EH
$35 < t \leq 40$	B, AH	D, DH	E, EH
$40 < t \leq 51$	D, DH	E, EH	E, EH

Таблица 6.1.3

Класс или категория материала конструктивных элементов

Категория конструктивного элемента	Класс или категория материала	
	В пределах 0,04*L* на миделе	Вне 0,04*L* на миделе
1	2	3
Второстепенные Пояса продольных переборок, иные, чем относящиеся к основной категории Настил открытых палуб, иной, чем относящийся к основной или специальной категории Бортовая обшивка	Класс I	Категория A[8]/AH

Продолжение табл. 6.1.3

1	2	3
Основные Днищевая обшивка, включая горизонтальный киль Настил прочной палубы, кроме относящейся к специальной категории [10] Непрерывные продольные элементы выше прочной палубы, кроме продольных комингсов люка Самый верхний пояс продольных переборок [10] Вертикальный пояс (продольная балка люка) и верхний наклонный пояс бортовой подпалубной цистерны	Класс II	Категория A[8]/AH
Специальные Ширстрек у прочной палубы [1][2][3][10] Палубный стрингер прочной палубы [1][2][3][10] Пояс настила палубы у продольной переборки [2][4][10] Настил прочной палубы у бортовых углов вырезов грузовых люков Скуловой пояс [2][5][6] Непрерывные продольные комингсы люка	Класс III	Класс II (Класс I вне 0,6*L* на миделе)
Другие категории Обшивка для ахтерштевней, кронштейнов руля, рулей и кронштейнов гребного вала [7] Прочные связи, не относящиеся к категориям, указанным выше [9]	– Категория A[8]/AH	**Класс II** **Категория A[8]/AH**

Примечание

1. Не должно быть менее E/EH в пределах 0,4*L* на миделе на судах длиной $L > 250$ м.

2. Отдельные пояса, которые должны быть из материала класса III или E/EH, должны в пределах 0,4*L* на миделе иметь ширину не менее $800 + 5L$ мм, но не более 1800 мм.

3. Для выполнения требований как к палубному стрингеру, так и к ширстреку, может быть рассмотрена скругленная конструкция верхней кромки борта при условии, что она простирается на 600 мм от борта к ДП и по вертикали.

4. У нефтеналивных судов шириной $B > 70$ м пояс в ДП и пояса в районе продольных переборок ПрБ и ЛБ должны быть класса III.

5. Допускается класс II на судах с двойным дном на всю ширину судна B и длиной $L < 150$ м.

6. Должно быть не ниже D/DH в пределах 0,6*L* в средней части судов длиной $L > 250$ м.

7. Для рулей и обшивки пера руля, испытывающих концентрацию напряжений (например, в районе нижней опоры полуподвесных рулей или в верхней части подвесных рулей), должен применяться класс III.

8. Категория B/AH должна использоваться для толщин листов свыше 40 мм. Однако тяжелые листы фундаментов под двигатели вне 0,6*L* на миделе могут быть категории A/AH.

9. Класс материала, используемого для подкрепления, и качество материала (т.е. сталь нормальной или повышенной прочности), используемого для приварных конструкций, таких как полосы для защиты от разлива нефти и скуловые кили, должны быть аналогичны применимым для обшивки корпуса в соответствующем районе. Если приварка осуществляется к скругленной верхней кромке борта, особое внимание следует обратить на требуемую категорию стали, учитывая особенности конструкции и детали крепления.

10. В конструктивных разрывах надстройки, независимо от положения, должен также применяться класс материала для палубного настила, ширстрека и верхнего пояса продольной переборки в пределах 0,4*L* на миделе.

1.2.4 Инструкции по ремонту

1.2.4.1 Если при постройке используются материалы, которые не соответствуют правилам по материалам конкретного классификационного общества, то комплект чертежей, содержащих следующую информацию по каждому материалу, должен быть представлен на борту судна в дополнение к следующим данным, обычно присутствующим на судне:

а) спецификация на материал и применяемые толщины;
б) технологический процесс сварки;
в) местонахождение и объем применения.

1.3 Алюминиевые сплавы

1.3.1 Общие положения

1.3.1.1 Использование алюминиевых сплавов в надстройках, рубках, крышках люков, вертолетных площадках или других местных конструкциях подлежит специальному рассмотрению. Должны

быть представлены на одобрение спецификация предлагаемых сплавов и предполагаемый метод их изготовления.

1.3.1.2 Должны быть представлены на одобрение подробные сведения по предлагаемому методу соединения любых алюминиевых и стальных конструкций.

1.3.1.3 Требования к материалам и размерам должны соответствовать правилам по материалам конкретного классификационного общества.

1.3.2 Воспламенение от искрения при соударении со сталью

1.3.2.1 При определенных обстоятельствах алюминий может вызвать воспламенение от искрения при соударении с окисленной сталью. Особый риск представляет вариант, когда алюминиевая конструкция трется о стальную конструкцию, не имеющую покрытия, оставляя тонкий след алюминия на поверхности. Последующий сильный удар со стороны ржавой конструкции по этому следу может вызвать искрение, способное воспламенить любой находящийся вблизи воспламеняемый газ. Поэтому необходимо выполнение следующих требований:

а) следует избегать алюминиевой арматуры в танках, используемых для перевозки нефти, в коффердамах и насосных отделениях;
б) в случае установки, алюминиевая арматура, узлы и крепления в танках, используемых для перевозки нефти, в коффердамах и насосных отделениях должны отвечать требованиям *2.1.2* для алюминиевых анодов;
в) в нижней части тяжелых переносных алюминиевых конструкций, таких как переходной мостик и т.п., должно быть предусмотрено покрытие из твердой пластмассы или дерева или другого одобренного средства для предотвращения образования следов алюминия. Такая защита должна быть постоянной и надежно прикрепленной к указанным конструкциям.

2 Защита от коррозии, включая покрытия

2.1 Защита корпуса

2.1.1 Общие положения

2.1.1.1 Все цистерны, выделенные для балластировки морской водой, должны иметь эффективную систему предотвращения коррозии согласно требованиям СОЛАС, Правило II-1/3-2 – см. *раздел 2/2.1.1.*

2.1.1.2 Для судов, контракт на постройку которых заключен на или после даты принятия ИМО исправленного Правила СОЛАС II-1/3-2, по которому «Технические требования к защитным покрытиям для балластных цистерн и пустых отсеков» ИМО станут обязательными, покрытия внутренних помещений, на которые распространяется исправленное Правило СОЛАС, должны отвечать этим требованиям.

2.1.1.3 В соответствии с резолюцией ИМО A.798(19) и Унифицированной интерпретацией МАКО SC122 выбор системы покрытия, включая выбор покрытия, спецификацию и план осмотров должны быть согласованы между судостроителем, поставщиком системы покрытия и судовладельцем с помощью классификационного общества до начала постройки. Спецификация для системы покрытия для указанных помещений должна быть документирована, и эта документация должна быть проверена классификационным обществом и должна полностью соответствовать техническим требованиям к покрытию.

2.1.1.4 Судостроитель должен продемонстрировать, что выбранная система покрытия, подготовка поверхности и методы нанесения совместимы с производственными процессами и методами.

2.1.1.5 Судостроитель должен продемонстрировать, что инспекторы по покрытиям имеют надлежащую квалификацию согласно стандарту ИМО.

2.1.1.6 Инспектор классификационного общества не должен контролировать нанесение покрытий, но должен проверять акты инспекторов по покрытиям с целью проверки выполнения установленной верфью технологии нанесения покрытий.

2.1.1.7 Если в балластных цистернах устанавливаются аноды, то на одобрение должны быть представлены чертежи распределения анодов в балластных танках. Такие чертежи должны включать сведения по соединению анодов с корпусом, например, подробные сведения по сварке.

2.1.2 Внутренние системы катодной защиты

2.1.2.1 Если в танках, используемых для перевозки жидкого груза с температурой вспышки ниже 60 °С, на стальные конструкции устанавливается система катодной защиты, то схема ее размещения должна быть представлена на одобрение. Установка системы будет рассматриваться в отношении безопасности от пожара и взрыва. Это одобрение касается также смежных танков.

2.1.2.2 Постоянные аноды из магния или магниевых сплавов в танках не допускаются, за исключением цистерн, предназначенных исключительно для водяного балласта. Системы электрохимической защиты с наложенным током не должны использоваться в танках из-за образования хлора и водорода, что может привести к взрыву. Однако алюминиевые аноды допустимы в танках для жидкого груза с температурой вспышки ниже 60 °С и в смежных балластных цистернах. Они должны располагаться таким образом, чтобы в случае ослабления их крепления и последующего отделения (падения) выделяющаяся кинетическая энергия не превышала 275 Дж.

2.1.2.3 Алюминиевые аноды должны располагаться таким образом, чтобы они были защищены от падающих объектов. Они не должны располагаться под люками в танки или отверстиями для мойки танков, если не защищены смежной конструкцией.

2.1.2.4 Все аноды должны быть прикреплены к конструкции таким образом, чтобы оставаться надежно закрепленными как первоначально, так и при эксплуатации судна. Применимы следующие методы:

а) стальной сердечник, присоединенный к конструкции непрерывными угловыми сварными швами достаточного поперечного сечения;
б) крепление с помощью надлежащим образом закрепленных сквозных анкерных болтов или других надежных стопорных устройств. Крепление зажимами, закрепленными установочными винтами, должно осуществляться с помощью одобренных средств.

2.1.2.5 Стальной сердечник анода, изогнутый и непосредственно приваренный к стальной конструкции, должен быть изготовлен из материала, соответствующего требованиям к категории А правил по материалам конкретного классификационного общества.

2.1.2.6 Аноды должны крепиться к ребрам жесткости или устанавливаться в одну линию в районе ребер жесткости на плоской обшивке переборки, но они не должны крепиться к наружной обшивке. Оба конца не должны крепиться к разным конструктивным связям, которые могут перемещаться относительно друг друга.

2.1.2.7 Если сердечники или опоры привариваются к элементам основного набора или главным несущим элементам, то они должны быть в стороне от концевых опор, концов книц и аналогичных концентраторов напряжений. Если они привариваются к элементам несимметричного профиля, то сварной шов должен отстоять от края стенки не менее, чем на 25 мм. В случае ребер жесткости или балок с симметричным пояском, соединение может быть выполнено к стенке или посередине пояска, но достаточно далеко от свободных кромок. Как правило, аноды не крепятся к пояску из стали повышенной прочности.

2.1.2.8 Танки, в которых установлены аноды, должны иметь достаточные отверстия для циркуляции воздуха, чтобы предотвратить скопление газа в карманах.

2.1.3 Краски, содержащие алюминий

2.1.3.1 Краска, содержащая алюминий, не должна использоваться в местах, где возможно скопление паров груза, если не было продемонстрировано соответствующими испытаниями, что эта краска не повышает опасность воспламенения от искрения. Испытания не требуются для покрытий, содержащих по весу менее 10 % алюминия.

3 Надбавки на коррозию

3.1 Общие положения

3.1.1 Введение

3.1.1.1 Требуемая толщина нетто стальных конструкций должна увеличиваться надбавкой на коррозию согласно настоящему подразделу.

3.1.1.2 Надбавки на коррозию в настоящем подразделе применимы к марганцево-углеродистым сталям – см. *1.1*. Применение надбавок на коррозию для других материалов, таких как нержавеющая сталь, должно соответствовать требованиям конкретного классификационного общества.

3.1.1.3 Применение надбавок на коррозию в расчетах применительно к правилам – см. *3.3*.

3.2 Надбавки на местную коррозию

3.2.1 Общие положения

3.2.1.1 Надбавки на местную коррозию t_{corr} для конструктивных элементов должны приниматься как:

$$t_{corr} = t_{was} + 0{,}5 \quad \text{мм},$$

где t_{was} полный допуск на износ рассматриваемого конструктивного элемента согласно *разделу 12/1.4.2.2*, мм.

3.2.1.2 Надбавки на местную коррозию t_{corr} для типичных конструктивных элементов в районе грузовых танков приведены в *табл. 6.3.1* и на *рис. 6.3.1*.

Таблица 6.3.1

Надбавки на коррозию t_{corr} для типичных конструктивных элементов в районе грузовых танков

Категория содержимого в танке			**Надбавка на коррозию t_{corr}, мм**
Внутренние элементы и граничная обшивка между помещениями с одинаковой категорией содержимого			
Внутри и между цистернами водяного балласта	Свободный поясок главного несущего элемента	В пределах 3 м ниже верха цистерны(1)	4,5
		В других местах	3,5
	Другие элементы	В пределах 3 м ниже верха цистерны(1)	4,0
		В других местах	3,0
Внутри и между грузовыми нефтяными танками	Свободный поясок главного несущего элемента	В пределах 3 м ниже верха танка(1)	4,0
		В других местах	3,5
	Другие элементы	В пределах 3 м ниже верха танка(1)	4,0
		В других местах	2,5

Продолжение табл. 6.3.1

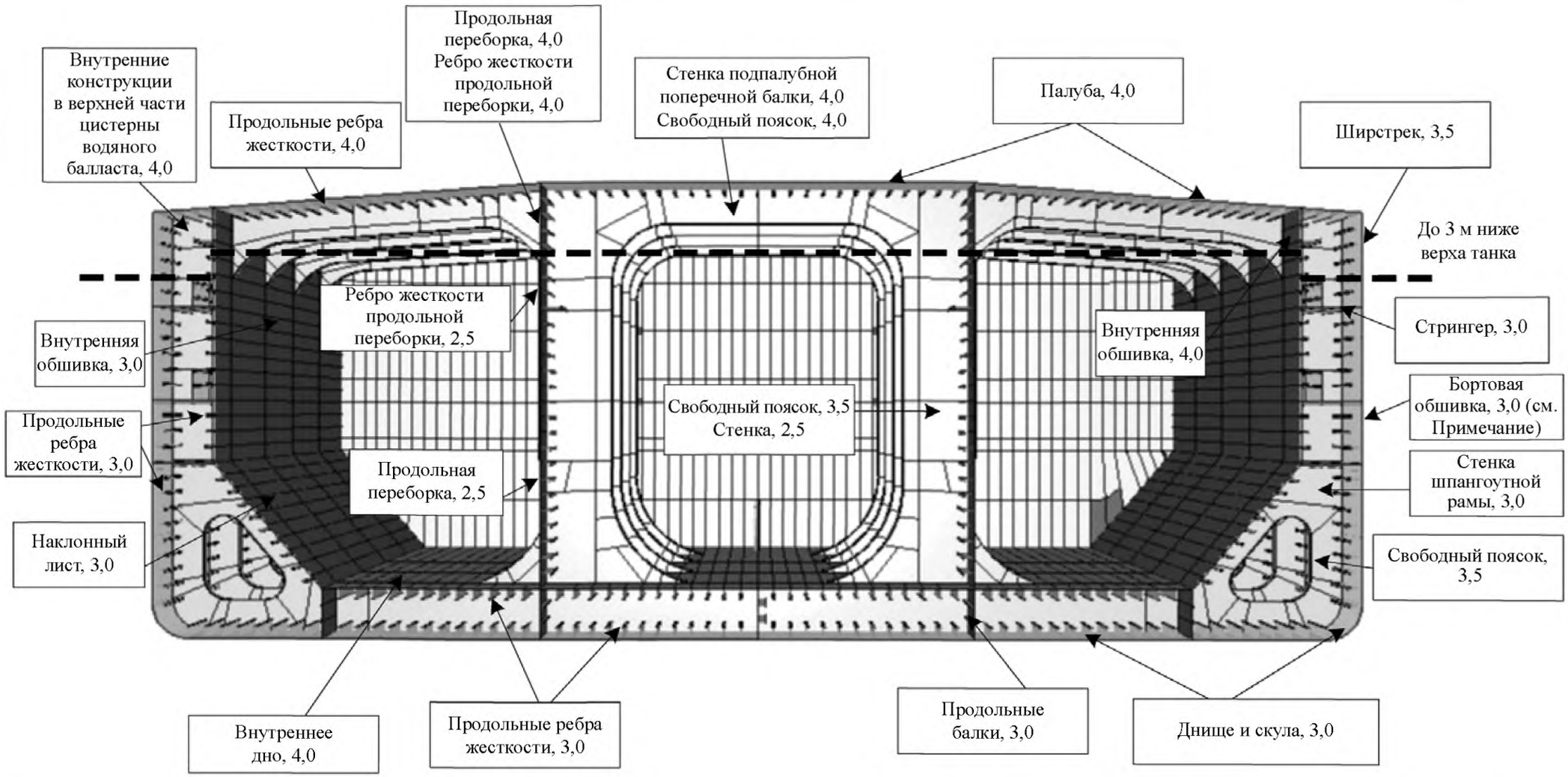
Внутри и между грузовыми нефтяными танками с подогревом	Свободный поясок главного несущего элемента	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	4,5
		В других местах	4,0
	Другие элементы	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	4,5
		В других местах	3,5
Открытые наружному воздуху с обеих сторон	Опорные элементы на палубе		2,5
Внутри и между пустыми отсеками	Помещения без нормального доступа, например, доступ только через отверстие для лаза, закрытое крышкой на болтах, туннели для трубопроводов и т.п.		2,0
Внутри и между сухими помещениями	Внутренняя часть рубок, машинных помещений, насосного отделения, кладовых, румпельного отделения и т.п.		1,5
Граничная обшивка между помещениями разных категорий			
Граница между балластной цистерной и грузовым нефтяным танком	Неподогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	4,0
		Настил внутреннего дна	4,0
		В других местах	3,0
	Подогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	4,5
		Настил внутреннего дна	4,5
		В других местах	3,0
Граница между балластной цистерной и наружным воздухом или морем	Настил открытой палубы		4,0
	Другие элементы[2]	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	3,5
		В других местах	3,0
Граница между балластной цистерной и пустым отсеком или сухим помещением	В пределах 3 м ниже верха танка[1]		3,0
	В других местах		2,5
Граница между грузовым танком и наружным воздухом	Неподогреваемый груз нефти	Настил открытой палубы	4,0
	Подогреваемый груз нефти	Настил открытой палубы	4,5
Граница между грузовым танком и пустыми отсеками	Неподогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	3,0
		В других местах	2,5
	Подогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	3,5
		В других местах	2,5
Граница между грузовым танком и сухими помещениями	Неподогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	3,0
		В других местах	2,0
	Подогреваемый груз нефти	В пределах 3 м ниже верха танка[1]	3,0
		В других местах	2,5

Примечание

1. Применимо только к грузовым танкам и балластным цистернам, верхом которых является открытая палуба.

2. Согласно *разделу 8/рис. 8.2.2* к бортовой обшивке в районе контакта с причалом при швартовке должно быть добавлено 0,5 мм.

Рис. 6.3.1
Надбавки на коррозию t_{corr} для типичных конструктивных элементов внутри грузового танка



Примечание
1. Надбавки на коррозию приведены для стандартной конфигурации и без учета подогрева груза.
2. Согласно *разделу 8/рис. 8.2.2* к бортовой обшивке в районе контакта с причалом при швартовке должно быть добавлено 0,5 мм.

3.3 Применение надбавок на коррозию

3.3.1 Общие положения

3.3.1.1 Надбавки на коррозию должны применяться согласно *3.3.2 – 3.3.7*, если в конкретных требованиях Правил не предусмотрено иное.

3.3.1.2 Соответствие с Правилами может обеспечиваться любым из следующих способов:

а) сравнением предлагаемого полного размера с требуемым полным размером: в этом случае применимая надбавка на коррозию добавляется к размеру нетто согласно требованию Правил;
б) сравнением предлагаемого размера нетто с требуемым размером нетто: в этом случае применимая надбавка на коррозию вычитается из полного предлагаемого размера.

Оба метода приемлемы для оценки толщины. Второй – наиболее приемлем для оценки характеристик сечения, например, момента сопротивления, площади и момента инерции.

3.3.1.3 Полные размеры согласно *3.3.2 – 3.3.7*, используемые для получения размеров нетто, должны исключать любые дополнения к толщинам со стороны судовладельца – см. также *раздел 2/4.3.4.3*.

3.3.2 Применение к расчетам продольной прочности эквивалентного бруса

3.3.2.1 Расчет напряжений в эквивалентном брусе для оценки продольной прочности согласно *разделу 8/1* должен быть основан на характеристиках сечения нетто эквивалентного бруса, рассчитанных вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}5t_{corr}$, из полной толщины всех конструктивных элементов, составляющих поперечное сечение эквивалентного бруса.

3.3.2.2 Способность листов и ребер жесткости сохранять местную устойчивость под действием напряжений в эквивалентном брусе должна рассчитываться на основе размеров нетто согласно *разделу 8/1.4.2*. Размер нетто рассчитывается вычитанием полной надбавки на коррозию, т.е. $-1{,}0t_{corr}$, из полной толщины.

3.3.3 Применение к прочностной оценке размеров листов и элементов основного набора

3.3.3.1 Требуемая полная толщина листов и элементов основного набора рассчитывается прибавлением полной надбавки на коррозию, т.е. $+1{,}0t_{corr}$, к толщине нетто согласно требованиям к прочности, приведенным в *разделах 8/2 – 8/7*.

3.3.3.2 Характеристики сечения нетто элементов основного набора рассчитываются вычитанием полной надбавки на коррозию, т.е. $-1{,}0t_{corr}$, из полных толщин стенки, фланца и присоединенного пояска согласно *разделу 4/2.4.1* и должны соответствовать требуемым моменту сопротивления сечения, моменту инерции и площади согласно *разделам 8/2 – 8/7*.

3.3.3.3 Расчет напряжений в эквивалентном брусе для оценки прочности элементов, находящихся под действием совместной общей и местной нагрузки, должен быть основан на характеристиках сечения нетто эквивалентного бруса, рассчитанных вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}5t_{corr}$, из полной толщины всех конструктивных элементов, составляющих поперечное сечение эквивалентного бруса.

3.3.3.4 Требуемая минимальная полная толщина листов и элементов основного набора рассчитывается прибавлением полной надбавки на коррозию, т.е. $+1{,}0t_{corr}$, к минимальной толщине нетто согласно требованиям *раздела 8/2.1.5*.

3.3.4 Применение надбавок на коррозию к прочностной оценке размеров главных несущих элементов

3.3.4.1 Требуемая полная толщина главных несущих элементов рассчитывается прибавлением половины надбавки на коррозию, т.е. $+0,5t_{corr}$, к толщине нетто согласно требованиям к прочности *разделов 8/2.6 и 8/3 – 8/7*.

3.3.4.2 Характеристики сечения нетто главных несущих элементов должны рассчитываться вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из полных толщин стенки и фланца и должны соответствовать требуемым моменту сопротивления сечения, моменту инерции и площади согласно *разделам 8/2.6* и *8/3 – 8/7*.

3.3.4.3 Требуемая минимальная полная толщина главных несущих элементов рассчитывается прибавлением полной надбавки на коррозию, т.е. $+1,0t_{corr}$, к минимальной толщине нетто согласно требованиям *раздела 8/2.1.6.1*.

3.3.5 Применение надбавок на коррозию к анализу предельной прочности эквивалентного бруса

3.3.5.1 Расчет предельной прочности эквивалентного бруса M_u, согласно *разделу 9/1*, должен быть основан на характеристиках сечения нетто эквивалентного бруса, рассчитанных вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из полной толщины всех конструктивных элементов, составляющих поперечное сечение эквивалентного бруса.

3.3.5.2 Способность конструктивных элементов, учтенных при расчете предельной прочности эквивалентного бруса, сохранять устойчивость должна рассчитываться вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из полных толщин листов, стенок и фланцев ребер жесткости.

3.3.6 Применение надбавок на коррозию для оценки прочности с помощью анализа методом конечных элементов

3.3.6.1 Для анализа конструктивной прочности грузовых танков согласно *разделу 9/2.2* и *приложению В/2* конечноэлементная модель должна использовать толщины, рассчитанные вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из полной толщины всех конструктивных элементов.

3.3.6.2 Способность листов и ребер жесткости сохранять местную устойчивость должна рассчитываться вычитанием полной надбавки на коррозию, т.е. $-1,0t_{corr}$, из полной толщины.

3.3.6.3 Модели с густой сеткой при анализе местной конструктивной прочности согласно *разделу 9/2.3* и *приложению В/3* должны учитывать толщины, рассчитанные вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из полной толщины. Заданные районы с густой сеткой должны моделироваться вычитанием полной надбавки на коррозию, т.е. $-1,0t_{corr}$, из полной толщины.

3.3.7 Применение надбавок на коррозию для оценки усталостной прочности

3.3.7.1 Расчет напряжений в эквивалентном брусе для оценки усталостной прочности согласно *разделу 9/3* и *приложению С/1* должен быть основан на усталостных характеристиках сечения нетто эквивалентного бруса, рассчитанных вычитанием одной четверти надбавки на коррозию, т.е. $-0,25t_{corr}$, из полной толщины всех конструктивных элементов, составляющих поперечное сечение эквивалентного бруса.

3.3.7.2 Расчет напряжений от поперечной нагрузки в элементах основного набора для оценки усталостной прочности согласно *разделу 9/3* и *приложению С/1* должен быть основан на вычитании половины надбавки на коррозию, т.е. $-0,5t_{corr}$, из толщин стенки, фланца и присоединенного пояска.

3.3.7.3 При подходе на основе напряжений в зоне концентрации напряжений (на основе метода конечных элементов) согласно *разделу 9/3* и *приложению С/2*, конечноэлементная модель излома наклонного листа бортовой скуловой цистерны должна учитывать толщину, рассчитанную вычитанием одной четверти надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}25t_{corr}$, из полных толщин. Сами районы с густой сеткой должны моделироваться вычитанием половины надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}5t_{corr}$, из полной толщины.

3.3.7.4 В качестве альтернативы *3.3.7.3*, конечноэлементная усталостная модель бортовой скуловой цистерны может быть составлена в соответствии с требованиями к конечноэлементной прочностной модели, т.е. все районы с вычитанием $0{,}5t_{corr}$ согласно *3.3.6.1*. Однако диапазон рассчитанных напряжений должен затем быть откорректирован с помощью коэффициента f_{model} согласно *приложению С/2.4.2.7*.

4 Изготовление

4.1 Общие положения

4.1.1 Качество изготовления

4.1.1.1 Качество изготовления должно соответствовать качеству в морской коммерческой практике и быть приемлемым для инспектора. Сварка должна осуществляться в соответствии с требованиями *подраздела 5*. Любой дефект подлежит устранению в соответствии с требованиями инспектора до того, как на материал будут нанесены краска, цемент или любое другое покрытие.

4.1.2 Стандарт на изготовление

4.1.2.1 Изготовление конструкций должно осуществляться в соответствии с Рекомендациями МАКО 47, Стандарт качества для судостроения и судоремонта при постройке новых судов или признанным стандартом на изготовление, который принят классификационным обществом до начала изготовления/постройки.

4.1.2.2 Стандарт на изготовление, используемый при изготовлении/постройке, должен быть в наличии у присутствующего представителя классификационного общества до начала изготовления/постройки.

4.1.2.3 Стандарт на изготовление должен включать информацию, устанавливать диапазон и пределы допусков для нижеперечисленных объектов:

а) резка кромок
- наклон обрезанной кромки и неровность обрезанных кромок;

б) продольные балки и кницы с фланцем и составные профили
- ширина фланца и высота стенки, угол между фланцем и стенкой, и прямолинейность в плоскости фланца или по верху свободного пояска;

в) пиллерсы
- прямолинейность между палубами и диаметр цилиндрической конструкции;

г) кницы и небольшие ребра жесткости
- искривление свободной кромки книц, подпирающих полку составной балки, и небольших ребер жесткости;

д) узлы ребер жесткости
- детали среза на ус второстепенных поясков и ребер жесткости;

е) плоскостная секция
- для плоских и криволинейных блоков – размеры (длина и ширина), искривление и перпендикулярность, и отклонение от плоскости внутренних конструктивных элементов;

ж) объемная секция
- для плоских и криволинейных блоков в дополнение к критериям для плоскостной секции – отклонение между верхним и нижним листами вследствие скручивания;

з) специальная сборка
– расстояние между верхней и нижней рулевыми петлями, расстояние между кормовой кромкой выкружки для гребного винта и ахтерпиковой переборкой, скручивание при сборке ахтерштевня, отклонение пера руля от оси гребного вала, скручивание плоскости пера руля, и плоскостность, ширина и длина верха фундамента под главный двигатель. Окончательная расточка выкружки для гребного винта и ахтерштевня, пятки ахтерштевня или кронштейна для руля, разметка и пригонка руля, штырей и съемного рудерпоста должны выполняться после завершения основной части сварочных работ в кормовой части судна. До окончательного монтажа должны быть проверены контакты между коническими поверхностями штырей, баллера руля и съемного рудерпоста;

и) стыковые соединения листов
– пригонка стыкового соединения листов;

к) крестообразные соединения
– пригонка относительно средней линии и относительно основания крестообразного соединения;

л) пригонка внутренних конструктивных элементов
– пригонка фланцев тавровых продольных балок, пригонка ребер жесткости секций, зазоры в тавровых соединениях и в соединениях внахлестку, и расстояние между вырезом в гребенчатом наборе и вырезом для непрерывных ребер жесткости при сборке и в монтажных соединениях;

м) вид киля и днища
– отклонения от прямолинейности на всей длине судна и на длине между двумя смежными переборками, подъем носовой и кормовой частей судна, и подъем дна на миделе;

н) размерения
– длина между перпендикулярами, теоретическая ширина и высота борта на миделе, и длина между кормовой кромкой выкружки для гребного винта и главным двигателем;

о) плавность обшивки между шпангоутами
– отклонения от прямолинейности между шпангоутами наружной обшивки, второго дна, переборок, верхней палубы, палубы надстройки, палубы рубки и обшивки стенок;

п) плавность обшивки в районе шпангоутов
– отклонения от прямолинейности наружной обшивки, второго дна, переборок, обшивки прочной палубы и других конструкций, измеренные в районе шпангоутов.

4.2 Холодная гибка

4.2.1 Особые конструктивные элементы

4.2.1.1 Для высоконапряженных элементов эквивалентного бруса, где ударная вязкость имеет особое значение (например, объекты, которые должны быть класса III согласно *табл. 6.1.3*, такие как скругленная верхняя кромка борта и скуловой пояс), внутренний радиус загиба при холодной гибке обшивки не должен быть менее 10 полных толщин листа для марганцево-углеродистых сталей (судостроительных сталей – см. *1.1*). Допустимый внутренний радиус загиба может быть уменьшен ниже 10 полных толщин листа при условии выполнения дополнительных требований *4.2.3*.

4.2.2 Другие конструктивные элементы

4.2.2.1 Для основных конструктивных элементов, например, гофрированных переборок и излома наклонного листа бортовой скуловой цистерны, внутренний радиус загиба при холодной гибке обшивки не должен быть менее 4,5 полных толщин листа для марганцево-углеродистых сталей (судостроительных сталей – см. *1.1*). Допустимый внутренний радиус загиба может быть уменьшен ниже 4,5 полных толщин листа при условии выполнения дополнительных требований *4.2.3*.

4.2.3 Дополнительные требования

4.2.3.1 Когда сталь подвергается гибке при температуре ниже 650 °C с радиусом менее 10 или 4,5 полных толщин листа для особых и других конструктивных элементов соответственно, должна быть предоставлена дополнительная информация. Как минимум, должны быть выполнены следующие дополнительные требования:

а) сталь должна быть категории D/DH или выше;

б) материал подвергается ударному испытанию в условиях механического старения и удовлетворяет соответствующим требованиям. Деформация должна быть равна максимальной деформации, которая возможна при производстве, рассчитанной по формуле $t_{grs}/(2r_{bdg} + t_{grs})$, где t_{grs} – полная толщина материала листа и r_{bdg} – радиус загиба. Один образец должен быть подвергнут пластическому растяжению при рассчитанной или 5 %-ной деформации, смотря, что больше, и затем подвергнуться искусственному старению при температуре 250 °C в течение 1 часа, после чего следует определение ударной вязкости по Шарпи на образце с V-образным надрезом. Средняя работа удара после механического старения должна отвечать требованиям к удару, указанным для категории применяемой стали;

в) проводится 100%-ный внешний осмотр деформированного участка. Дополнительно проводятся выборочные проверки с использованием магнитной дефектоскопии.

Радиус загиба не в коем случае не должен быть менее двойной полной толщины листа.

4.3 Горячая гибка

4.3.1 Требования к температуре

4.3.1.1 Сталь не должна подвергаться гибке между верхней и нижней критическими температурами. Если температура при гибке стали в состоянии после прокатки, стали с прокаткой при контролируемой температуре, стали с термомеханической обработкой при контролируемой температуре или нормализованной стали превышает 650 °C, или не ниже, по крайней мере, на 28 °C температуры отпуска для сталей, улучшенных закалкой и отпуском, должны проводиться механические испытания, чтобы гарантировать, что эти температуры не повлияли отрицательно на характеристики стали в части растяжения и ударного изгиба.

4.3.1.2 Если предусматривается дальнейший нагрев стали с термомеханической обработкой при контролируемой температуре (листы стали) для формообразования, снятия напряжений или сварки с высокой погонной энергией, то необходимо подтвердить с помощью процедурного теста, используя типичный материал, что механические свойства не ухудшатся.

4.3.2 Линейный или точечный нагрев

4.3.2.1 Чтобы отрицательно не повлиять на свойства материала, криволинейное формообразование или правка с применением линейного или точечного нагрева должны проводиться с использованием одобренных методик. Температура нагрева на поверхности должна контролироваться с тем, чтобы не превысить максимально допустимый предел применительно к категории материала.

4.4 Сварка

4.4.1 Общие положения

4.4.1.1 Вся сварка должна выполняться сварщиками, имеющими допуск, в соответствии с одобренными технологическими процессами сварки, используя одобренные сварочные материалы, и должна соответствовать правилам по материалам конкретного классификационного общества. Последовательность сборки и последовательность сварки должны быть одобрены до начала постройки и должны быть одобрены инспектором – см. *подраздел 5*.

4.4.2 Последовательность сварки

4.4.2.1 Следует обратить внимание на последовательность сборки и на влияние общего коробления плоскостных секций, узлов и т.п. в результате примененных сварочных процессов. Сварка должна проводиться систематически, выполняя каждое сварное соединение в правильной последовательности без неожиданных перерывов.

4.4.2.2 Если возможно, то сварка должна начинаться в центре соединения и продвигаться наружу, или начинаться в центре узла и продвигаться в сторону периметра так, чтобы каждый участник мог выбрать движение в одном или более направлениях.

4.4.2.3 Как правило, приварка подкрепляющих элементов, включая поперечные элементы, шпангоуты, балки и т.п., к сваренным листовым секциям с помощью автоматической сварки должна выполняться таким образом, чтобы угловые деформации ребер жесткости были минимальными.

4.4.3 Пересечения сварных швов

4.4.3.1 Сварные швы должны быть выполнены заподлицо в районе прилегающей поверхности, где подкрепляющие элементы, приваренные непрерывными угловыми швами, пересекают полностью законченные стыковые или роликовые сварные швы. Аналогично, стыковые швы в стенках подкрепляющих элементов должны быть закончены и выполнены заподлицо до наложения углового шва. Окончания участков заподлицо должны быть плавными, без надрезов или резкого изменения сечения. Там, где это невыполнимо, в стенке подкрепляющего элемента должен быть сделан дугообразный вырез, размер и положение которого должны позволить выполнение удовлетворительного шва с обратной стороны.

4.4.4 Предотвращение протечек

4.4.4.1 Если конструктивные элементы проходят через границу танка, протечки в смежное помещение опасны или нежелательны. Поэтому с каждой стороны границы танка все элементы на длине не менее 150 мм должны привариваться с полным проваром. Однако малые дугообразные отверстия приемлемой формы могут быть вырезаны в конструктивном элементе вблизи границы вне отсека и тщательно обварены по периметру.

5 Выбор сварного шва и его размеры

5.1 Общие положения

5.1.1 Область применения

5.1.1.1 Как правило, размеры сварных швов основаны на значениях полных толщин согласно Правилам.

5.1.1.2 Требования к последовательности сварки, квалификации сварщиков, технологическим процессам сварки и сварочным материалам приведены в *4.4*.

5.1.2 Чертежи и спецификации

5.1.2.1 По каждому новому проекту должны представляться на одобрение чертежи и/или спецификации, показывающие размеры и детали сварных швов.

5.1.2.2 Если предлагаются уменьшения размеров сварных швов, то должны применяться требования, приведенные в *5.9*, и в спецификацию на сварку должны быть включены следующие сведения:

а) предлагаемый размер зазора между свариваемыми кромками;
б) предлагаемый сварочный материал.

5.1.3 Требования к допускам

5.1.3.1 Зазоры между прилегающими поверхностями конструктивных элементов, подлежащих соединению, должны сводится к минимуму.

5.1.3.2 Если зазор между элементами, соединяемыми угловыми швами, свыше 2 мм, то размер сварного шва должен быть увеличен согласно *5.7.1.6.*

5.1.4 Особые меры предосторожности

5.1.4.1 Сварка должна основываться на одобренных спецификациях технологического процесса сварки, если для крепления тяжелых листов или профилей используются угловые швы малого калибра. Допустимы особые меры предосторожности, подобные предварительному подогреву, использованию безводородных электродов или безводородных способов сварки.

5.1.4.2 Если массивные конструктивные элементы крепятся к относительно легкой обшивке, то может потребоваться изменение размера шва и последовательности сварки.

5.2 Стыковые соединения

5.2.1 Общие положения

5.2.1.1 Соединения в листовых компонентах секций с подкреплениями обычно выполняются стыковыми швами. Типичные примеры стыковых сварных швов с соответствующей подготовкой кромок показаны на *рис. 6.5.1.*

5.2.1.2 Все типы стыковых швов должны свариваться с обеих сторон. До выполнения сварки с обратной стороны должен быть приемлемым способом удален неплотно наплавленный металл в корне шва. Стыковая односторонняя сварка допустима только для конкретных случаев применения по одобренной спецификации технологического процесса сварки.

5.2.2 Разница в толщине в стыковых сварных швах

5.2.2.1 Если свариваются встык листы различной толщины, следует избегать резкого изменения сечения.

5.2.2.2 Если соединяемые листы различаются по толщине более чем на 4 мм, то должен быть предусмотрен соответствующий переход в виде скоса. Переход может быть образован скосом более толстого элемента или выбором варианта сварного соединения, который предусматривает требуемый переход.

5.2.2.3 Для поперечных стыков в продольных прочных связях длина скошенного перехода должна быть не менее трех смещений кромки.

5.2.2.4 Разница по толщине свыше 4 мм и без переходного скоса может быть допущена для конкретных случаев.

5.3 Тавровые или крестообразные соединения

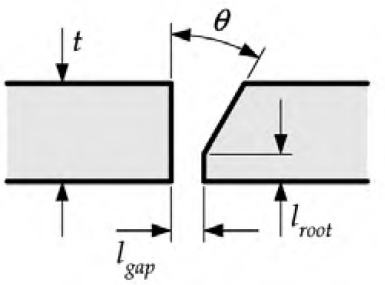
5.3.1 Общие положения

5.3.1.1 Соединение главных несущих элементов и стенок ребер жесткости/концевых присоединений, и соединения, образованные обшивкой, находящейся торцом к плоскостной секции, обычно выполняются угловыми швами размером, соответствующим *5.7* и *рис. 6.5.2.* Примеры других типичных тавровых или крестообразных сварных соединений показаны на *рис. 6.5.3.*

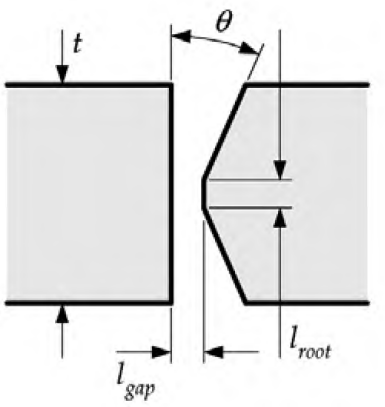
5.3.1.2 Если соединение высоконапряженное или считается критическим, то сварной шов с частичным или полным проваром можно получить разделкой кромки стыкуемого торцом листа – см. *раздел 5.3.4* и *рис. 6.5.3.*

Рис. 6.5.1
Типичные стыковые сварные швы

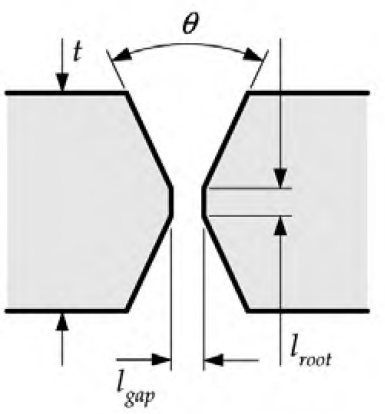
Стык с односторонним скосом кромки



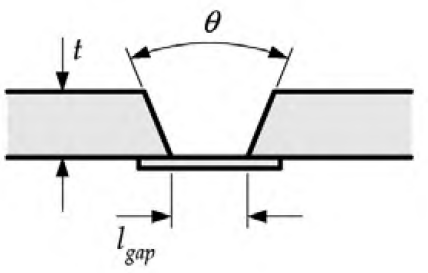
Стык с двойным скосом кромки



Стык с двумя скосами двух кромок, одинаковый скос кромок



Стык со скосом двух кромок, односторонняя сварка с подкладкой (временной или постоянной)

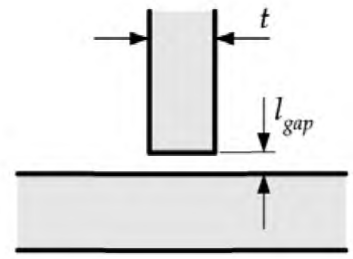


Примечание

1. Рисунки представлены только для справки. Фактические детали и размеры должны соответствовать признанному стандарту на изготовление – см. *4.1.2.1.*

Рис. 6.5.2
Типичные тавровые или крестообразные соединения с угловым сварным швом

Тавровое соединение с угловым швом

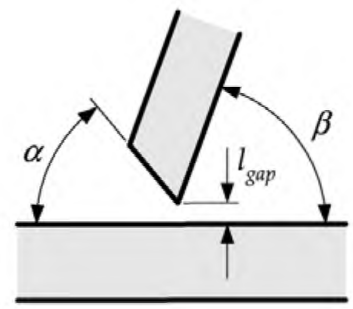


Примечание

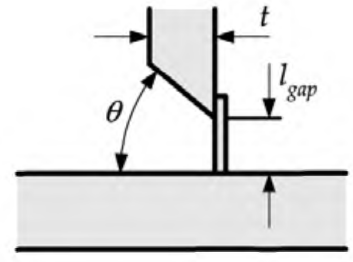
1. Рисунки представлены только для справки. Фактические детали и размеры должны соответствовать признанному стандарту на изготовление – см. *4.1.2.1*.

Рис. 6.5.3
Другие типичные тавровые или крестообразные соединения с угловым сварным швом

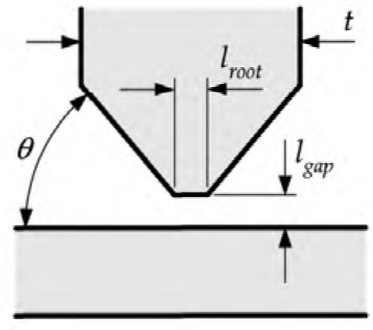
Соединение угловым швом с малым углом наклона



Тавровое соединение с односторонним скосом кромки с постоянной подкладкой



Тавровое соединение с двойным симметричным скосом кромки



Примечание

1. Рисунки представлены только для справки. Фактические детали и размеры должны соответствовать признанному стандарту на изготовление – см. *4.1.2.1*.

5.3.2 Сварка сплошным непрерывным швом

5.3.2.1 Сварка сплошным непрерывным швом должна применяться в следующих местах:

а) все угловые сварные швы, где применяется сталь повышенной прочности;
б) границы водонепроницаемых палуб и надстроек, включая комингсы люков, сходные трапы и другие отверстия;
в) границы танков и водонепроницаемых отсеков;
г) все конструкции в балластных цистерны и цистернах пресной воды, и ребра жесткости переборок указанных емкостей;
д) все конструкции в ахтерпике и ребра жесткости ахтерпиковой переборки;
е) все конструкции в форпике/пустом отсеке;
ж) вся сварка внутри танков для сырой нефти, нефтепродуктов, химикалий, пищевых жидкостей и пресной воды;
з) сварка в районе всех концевых креплений, включая концевые кницы, планки, гребенки, и в ортогональных соединениях с другими связями;
и) швы внахлестку в основном корпусе;
к) соединения главных несущих элементов и подкрепляющих элементов с днищевой обшивкой в носовой части протяженностью $0{,}3L$;
л) соединения полосовых продольных балок с обшивкой;
м) крепление второстепенных фитингов к обшивке из стали повышенной прочности и другие соединения или крепления.

5.3.3 Сварка прерывистым швом

5.3.3.1 Если сварка сплошным непрерывным швом не требуется, то может быть применена сварка прерывистым швом.

5.3.3.2 Если бимсы, ребра жесткости, шпангоуты и т.п. привариваются прерывистым швом и проходят через прорези в балкам, шельфах или стрингерах, с каждой стороны каждого пересечения должна быть соответствующая пара прерывистых швов. Кроме того, бимсы, ребра жесткости, шпангоуты должны быть надежно закреплены на балках, шельфах или стрингерах.

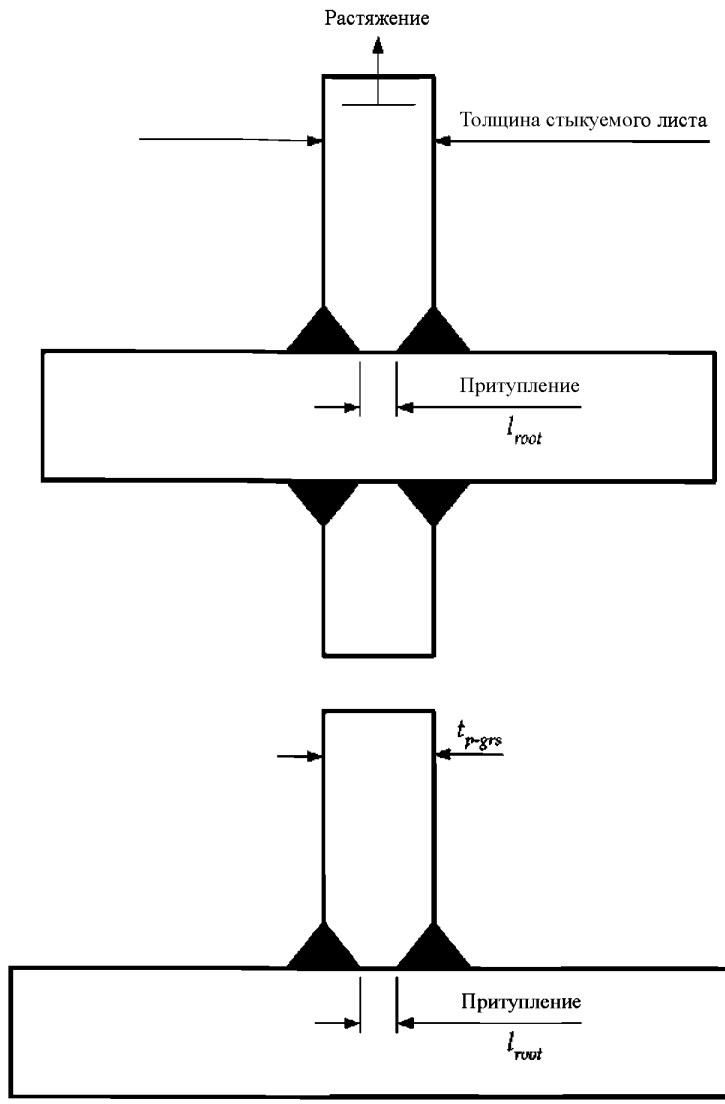
5.3.4 Угловые или тавровые соединения с полным или частичным проваром

5.3.4.1 Если на промежуточный лист действуют высокие растягивающие напряжения (см. *рис. 6.5.4*), то должны применяться увеличенные угловые швы или швы согласно *5.8*, полученные путем проплавления основного металла. Примерами таких конструкций являются:

а) соединение наклонной обшивки бортовой скуловой цистерны с внутренним корпусом;
б) концевые соединения с двойным дном главных несущих элементов продольной/поперечной переборки;
в) соединение боковых листов нижней трапецеидальной опоры гофрированной переборки с шельфовым листом, и вторым дном/бортовой скуловой цистерной;
г) соединения горизонтальных книц с гофрированной переборкой;
д) соединение флоров двойного дна, стенок нижней бортовой скуловой цистерны и стрингеров двойного дна под фланцами гофрированной переборки и книц гофрированной переборки, не имеющей нижней трапецеидальной опоры;
е) конструктивные элементы в двойном дне под главными несущими элементами переборки и листами трапецеидальной опоры.

5.3.4.2 Сварные швы с полным или частичным проваром с максимальным притуплением $l_{root} = t_{p\text{-}grs}/3$, где l_{root} – длина притупления и $t_{p\text{-}grs}$ – полная толщина листа (см. *рис. 6.5.4*), должны использоваться для соединения наклонной обшивки бортовой скуловой цистерны и второго дна.

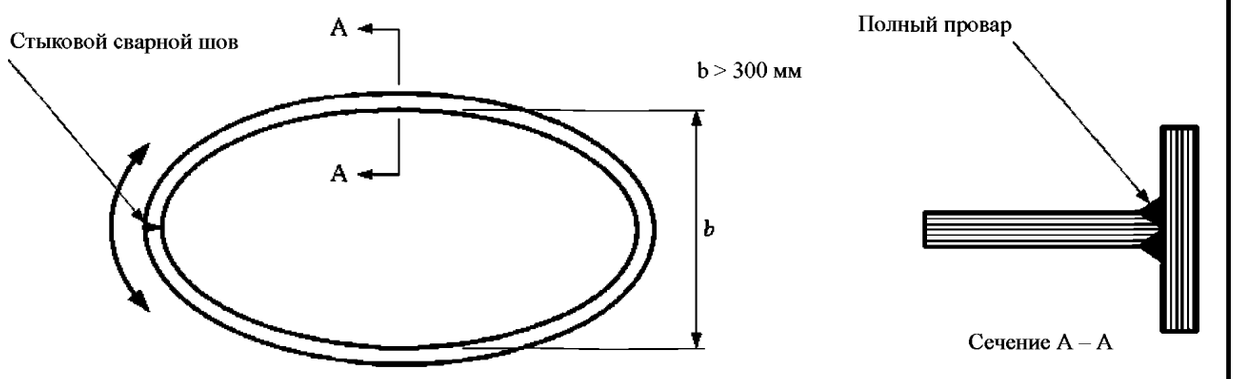
Рис. 6.5.4
Стыкуемый лист



5.3.4.3 Сварные швы с полным проваром должны использоваться в следующих соединениях:

а) нижнего конца переборки с вертикальными гофрами;
б) нижнего конца книц с гофрированной переборкой;
в) кронштейна руля и кронштейна гребного вала с обшивкой;
г) в районе соединения боковой обшивки пера руля с баллером;
д) подкрепление кромок на длине $0{,}6L$ на миделе в настиле прочной палубы, ширстреке, днищевой и скуловой обшивке, если поперечный размер отверстия превышает 300 мм – см. *рис. 6.5.5*. Если в районе прохода трубопровода установлена планка, то она должна привариваться непрерывным угловым швом;

Рис. 6.5.5
Примеры допустимых подкреплений кромок



е) стыкуемые листы полной толщиной $t_{p\text{-}grs} \leq 12$ мм (см. *рис. 6.5.4*), образующие границы наружной обшивки ниже максимальной осадки по условиям прочности T_{sc}, включая, но не ограничиваясь этим, кингстонные ящики, гельмпортовую трубу и частично транец. Для полной толщины листа $t_{p\text{-}grs} > 12$ мм допустима сварка с частичным проваром с максимальной длиной притупления $l_{root} = t_{p\text{-}grs}/3$;

ж) основания грузовых кранов и необходимые при этом кницы и опорные конструкции согласно *разделу 11/3.1.4.14*.

5.4 Соединения внахлестку

5.4.1 Общие положения

5.4.1.1 Соединение внахлестку может быть допущено для концевых соединений, не подверженных высоким растягивающим и сжимающим нагрузкам.

5.4.1.2 Если соединение внахлестку допускается, то ширина перекрытия w_{lap} должна быть не менее трех и не более четырех полных толщин более тонкого из соединяемых листов – см. *рис. 6.5.6*. Если полная толщина более тонкого из соединяемых листов 25 мм или более, то соединение внахлестку подлежит специальному рассмотрению. Перекрытия для соединительных и обделочных планок в районе вырезов для прохода ребер жесткости через стенки и обшивку переборок, как правило, не должны превышать 50 мм. Соединения должны располагаться так, чтобы обеспечить удобный доступ для выполнения качественных сварных швов.

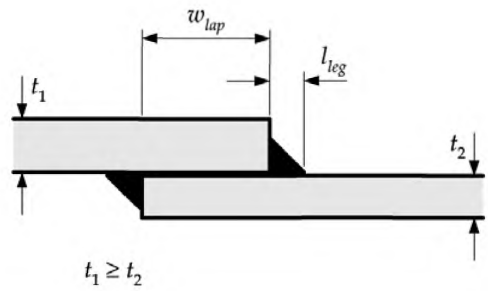
5.4.1.3 Прилегающие поверхности соединений внахлестку должны иметь тесный контакт и по обеим кромкам перекрытия должны быть наложены непрерывные угловые швы.

5.4.2 Концевые соединения внахлестку

5.4.2.1 Концевые соединения внахлестку продольных прочных связей в пределах $0{,}4L$ в средней части судна должны иметь непрерывные угловые швы по обеим кромкам. Величина каждого катета шва должна быть равной полной толщине более тонкого из соединяемых листов. Все другие концевые соединения внахлестку должны иметь непрерывные швы по каждой кромке с такой величиной катета l_{leg} (см. *рис. 6.5.6*), что сумма обеих величин катета была не менее 1,5 полных толщин более тонкого листа.

Рис. 6.5.6
Соединение внахлестку

Угловой шов в соединении внахлестку



5.4.3 Швы внахлестку

5.4.3.1 Швы внахлестку по границам танка или водонепроницаемых переборок должны иметь непрерывные швы по обеим кромкам размеров согласно *табл. 6.5.1*. Швы листов полной толщиной 12,5 мм или менее, находящиеся вне танков, могут иметь одну кромку, сваренную прерывистым швом согласно *табл. 6.5.1* для границ водонепроницаемых переборок.

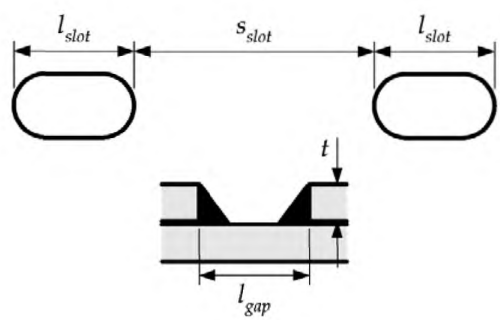
5.5 Прорезные сварные швы

5.5.1 Общие положения

5.5.1.1 Прорезные сварные швы могут быть одобрены специально для конкретного применения. Типичные примеры приведены в *5.5.2* и *5.5.3*, а схема расположения – на *рис. 6.5.7*.

Рис. 6.5.7
Прорезные сварные швы

Сварка прорезным швом



5.5.1.2 Прорези должны быть скруглены и иметь минимальную длину l_{slot} = 75 мм и ширину w_{slot}, равную удвоенной полной толщине листа. Если прорези делаются в накладном листе или подобных местах, то такие сварные швы, как правило, должны находиться на расстоянии $s_{slot} = 2\,l_{slot} \div 3\,l_{slot}$, но не более 250 мм.

5.5.2 Замыкающие листы

5.5.2.1 Для соединения обшивки с внутренними стенками, там, где доступ для сварки невозможен, замыкающие листы могут быть прикреплены к пояскам, установленным на стенках этих балок, используя прорезные угловые сварные швы.

5.5.2.2 Прорези должны быть скруглены и иметь минимальную длину l_{slot} = 90 мм и наибольшую ширину w_{slot}, равную удвоенной полной толщине листа. Прорези, сделанные в обшивке, должны иметь ровные, чистые и квадратные кромки и, как правило, должны находиться на расстоянии $s_{slot} \leq 140$ мм. Прорези не должны заполняться сваркой.

5.5.3 Замыкающие листы пера руля

5.5.3.1 Соединение боковой обшивки пера руля с рамными стойками и шельфами, там, где доступ для сварки невозможен, может быть сделано с помощью прорезных сварных швов на полосах на указанных рамных стойках и шельфах. Прорези должны иметь минимальную длину l_{slot} = = 75 мм и, как правило, минимальную ширину w_{slot}, равную удвоенной полной толщине боковой обшивки. Концы прорезей должны быть скруглены. Расстояние между прорезями s_{slot} не должно превышать 150 мм, и сварка должна основываться на коэффициенте прочности сварного шва 0,54 с учетом требований *5.7.1.2* к размеру катета углового шва.

5.6 Приваренные шпильки

5.6.1 Общие положения

5.6.1.1 Если требуется прикрепить с помощью сварки постоянные или временные шпильки к основным конструктивным частям в районах, подверженных высоким напряжениям, то предлагаемое расположение шпилек должно быть представлено на одобрение.

5.7 Определение размера швов

5.7.1 Общие положения

5.7.1.1 Следующие размеры швов должны округляться до ближайших 0,5 мм.

5.7.1.2 Величина катета l_{leg} (см. рис. 6.5.8) непрерывного, нахлесточного или прерывистого углового шва с учетом требований *5.7.2 – 5.7.5* не должна приниматься менее, чем:

а) $l_{leg} = f_1 t_{p\text{-}grs}$;
б) $l_{leg} = f_{yd} f_{weld} f_2 t_{p\text{-}grs} + t_{gap}$;
в) l_{leg} согласно *табл. 6.5.2*,

где $f_1 = 0{,}30$ для сварки двухсторонним сплошным непрерывным швом;
$f_1 = 0{,}38$ для сварки прерывистым швом;
$t_{p\text{-}grs}$ полная толщина листа, мм; обычно принимается равной полной толщине стыкуемого (прикрепляемого) элемента – см. *5.7.1.5*;
f_{yd} поправочный коэффициент, учитывающий предел текучести наплавленного металла:
$= \left(\frac{1}{k}\right)^{0,5} \left(\frac{235}{\sigma_{weld}}\right)^{0,75}$, но не должен приниматься менее 0,707;
σ_{weld} минимальный предел текучести наплавленного металла – не должен быть менее, чем:
305 Н/мм^2 для сварки стали нормальной прочности,
375 Н/мм^2 для сварки стали повышенной прочности с пределом текучести 265 – 355 Н/мм^2,
400 Н/мм^2 для сварки стали повышенной прочности с пределом текучести 390 Н/мм^2;
если размер шва определяется исходя из предела текучести наплавленного металла, который превышает заданную минимальную величину, то в части дополнительных требований, см. *5.9.4*;
k коэффициент использования стали высокой прочности, согласно *1.1.4*, с учетом материала стыкуемого элемента;
f_{weld} коэффициент прочности сварного шва, зависящий от типа конструктивной связи – см. *5.7.1* и *5.7.4*;
f_2 поправочный коэффициент на тип сварного шва:
= 1,0 для двухстороннего непрерывного углового шва;

$= \dfrac{s_{ctr}}{l_{weld}}$ для сварки прерывистым или цепным швом;

f_{weld} фактическая длина углового сварного шва вне кратера, мм;

s_{ctr} расстояние между смежными угловыми сварными швами от центра до центра, мм;

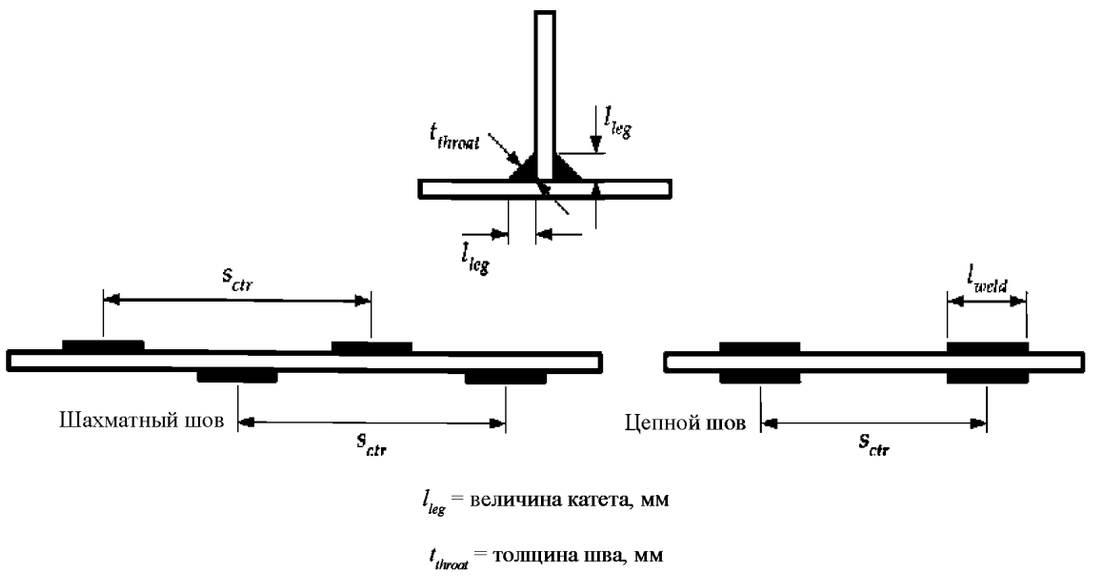
t_{gap} допуск на зазор между свариваемыми кромками (могут быть разрешены меньшие зазоры – см. *5.9.2*):

= 2,0 мм при $t_{p\text{-}grs} > 6{,}5$ мм;

$= 2\ 1{,}25 - \left(\dfrac{1}{f_2}\right)$ мм при $t_{p\text{-}grs} \le 6{,}5$ мм.

5.7.1.3 Толщина шва должна быть не менее $l_{leg} / \sqrt{2}$, где величина катета l_{leg} показано на *рис. 6.5.8*.

Рис. 6.5.8
Характеристики шва



l_{leg} = величина катета, мм

t_{throat} = толщина шва, мм

5.7.1.4 Величина катета парных угловых швов с каждой стороны пересечения с прерывистым сварным швом не должна превышать $0{,}62t_{p\text{-}grs}$ или 6,5 мм, смотря, что меньше.

5.7.1.5 Если полная толщина стенки стыкуемого продольного ребра жесткости более 15 мм и превышает толщину листовой конструктивной связи (т.е. обшивки), то сварка должна быть двухсторонним сплошным непрерывным швом с величиной катета сварного шва не менее наибольшего из:

а) 0,3 полной толщины листовой конструктивной связи; применяемую толщину листовой конструктивного элемента не требуется принимать более 30 мм;

б) 0,27 полной толщины стыкуемого конструктивного элемента плюс 1,0 мм; величину катета не требуется принимать более 8 мм;

в) согласно *табл. 6.5.2* для соединения ребер жесткости с обшивкой.

5.7.1.6 Если зазор между соединяемыми конструктивными элементами превышает 2 мм и не более 5 мм, то величина катета шва должна быть увеличена на величину зазора свыше 2 мм. Если зазор между элементами более 5 мм, должны быть приняты корректирующие действия в соответствии с одобренной спецификацией технологического процесса сварки.

5.7.2 Сварка соединений с угловым швом главных несущих элементов

5.7.2.1 Принятые коэффициенты прочности сварного шва для соединений конструктивных элементов корпуса судна приведены в *табл. 6.5.1*.

5.7.2.2 Если элементы корпуса образуют часть главного несущего элемента двойного корпуса, должны также учитываться требования *5.7.4*.

5.7.2.3 Если в промежуточном листе действуют высокие растягивающие напряжения (см. *рис. 6.5.4*), то согласно *5.8* должны использоваться увеличенные угловые швы или швы, полученные путем проплавления основного металла.

5.7.3 Сварка главных несущих элементов

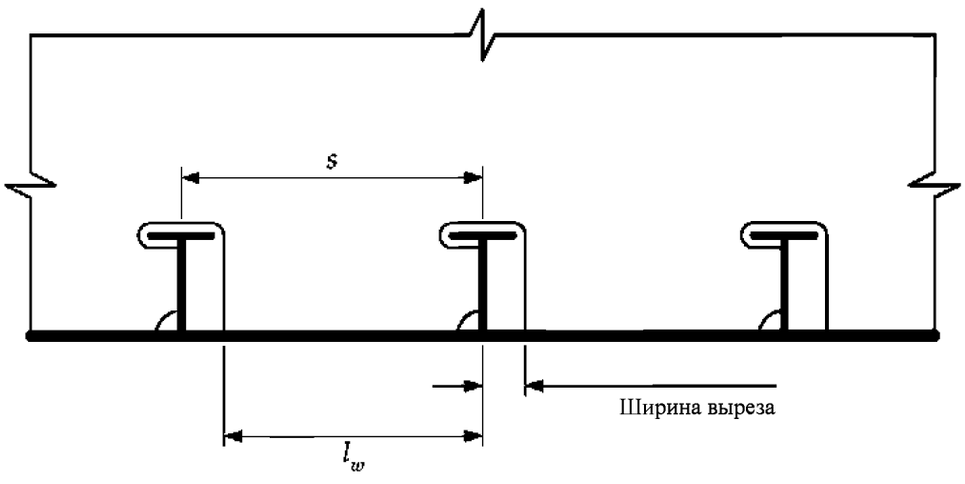
5.7.3.1 Коэффициенты прочности сварного шва для соединений листа стенки главных несущих элементов приведены в *табл. 6.5.4*.

5.7.3.2 Если минимальный размер шва определяется согласно требованиям *5.7.1.2(б)*, то сварные соединения с наружной обшивкой, палубами или переборками должны учитывать материал, удаленный вырезами для прохода ребер жесткости через конструктивный элемент. В случаях, когда лист стенки и ширина указанного выреза превышают 15 % шпации ребер жесткости, размер сварного шва должен быть умножен на:

$$\frac{0{,}85s}{l_w},$$

где s шпация ребер жесткости, мм;
l_w длина листа стенки между вырезами, мм – см. *рис. 6.5.9*.

Рис. 6.5.9
Материал, удаленный вырезами в стенке для прохода ребер жесткости



5.7.4 Сварка концевых соединений главных несущих элементов

5.7.4.1 Сварка концевых соединений главных несущих элементов (т.е. рамных шпангоутов и балок) должна выполняться таким образом, чтобы площадь поперечного сечения сварного шва A_{weld} была эквивалентной полной площади поперечного сечения элемента, требуемой Правилами. С точки зрения величины катета сварного шва l_{leg} он должен приниматься следующим образом:

$$l_{leg} = 1{,}41\, f_{yd} \frac{h_w\, t_{p\text{-}grs}}{l_{dep}} \text{ мм,}$$

где h_w высота стенки главного несущего элемента, мм – см. *рис. 6.5.10*;

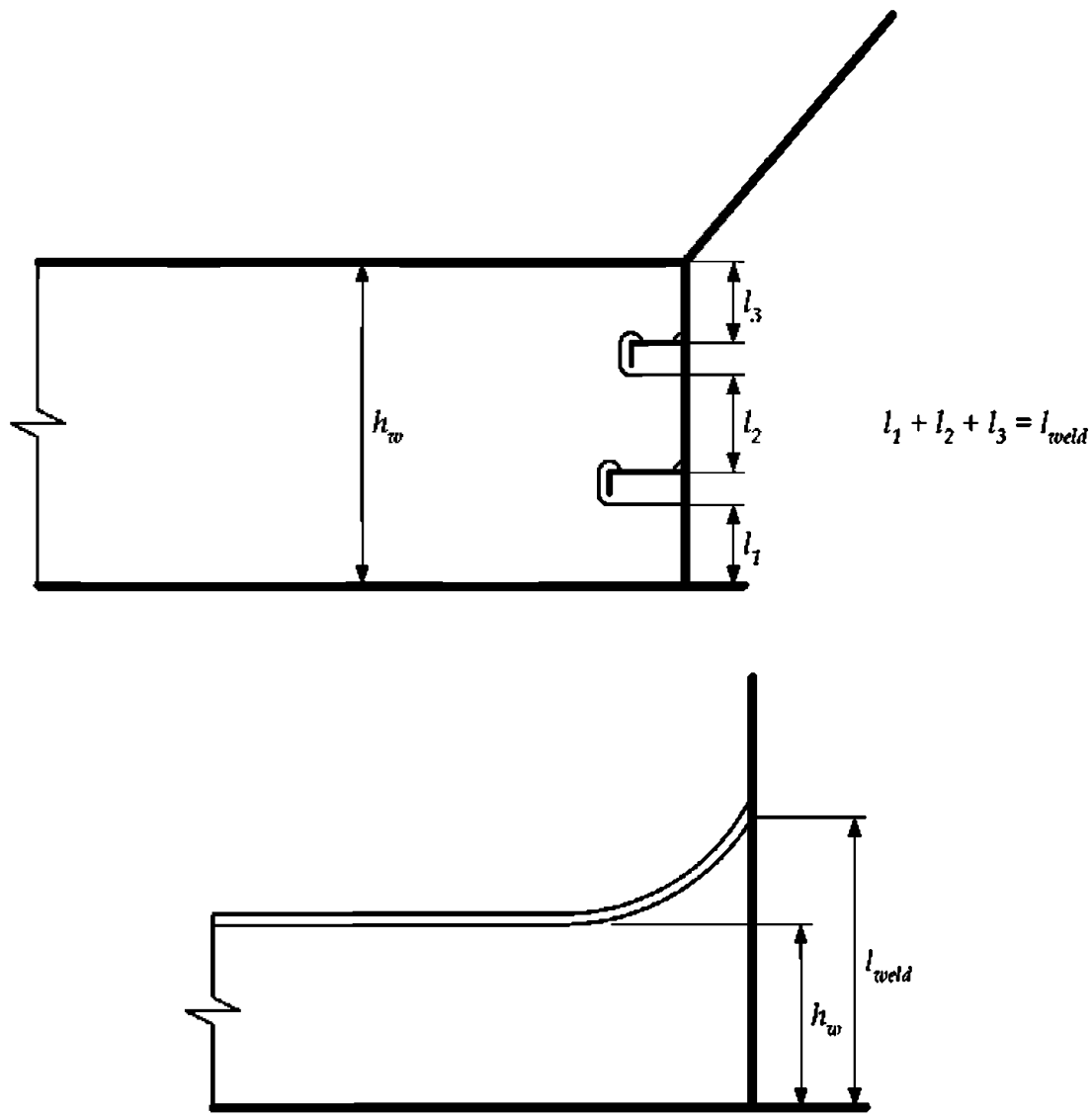
$t_{p\text{-}grs}$ полная толщина главного несущего элемента согласно Правилам, мм;

l_{dep} полная длина наплавленного металла, мм; как правило, она может приниматься равной удвоенной величине l_{weld}, показанной на *рис. 6.5.10* для двухстороннего непрерывного углового шва;

f_{yd} поправочный коэффициент, учитывающий предел текучести наплавленного металла согласно *5.7.1.2*.

Размер сварного шва не должен быть меньше размера, рассчитанного в соответствии с *5.7.1.2*, используя минимальный коэффициент прочности сварного шва $f_1 = 0{,}48$ в танках или 0,38 в остальных местах.

Рис. 6.5.10
Концевое соединение главных несущих элементов



Примечание

1. Длина l_{weld} – длина сварного соединения. Полная длина наплавленного металла l_{dep} для двухсторонних непрерывных угловых швов равна удвоенной длине сварного соединения l_{weld}.

5.7.5 Сварка концов ребер жесткости

5.7.5.1 Приварка продольных элементов к обшивке по их окончаниям должна выполняться двухсторонним непрерывным швом. В районе поперечных элементов длина двухстороннего непрерывного сварного шва должна быть равной высоте продольного элемента или высоте концевой кницы, смотря, что больше.

5.7.5.2 Для палубных продольных элементов на пересечении продольных и поперечных элементов требуется аналогичная пара сварных швов.

5.7.5.3 Требования к приварке концевых соединений ребер жесткости (т.е. продольных элементов, бимсов и ребер жесткости переборок) должны быть не ниже, чем в *табл. 6.5.5*. При наличии двух требований, учитывается более жесткое требование. Площадь поперечного сечения сварного шва A_{weld}, указанная в *табл. 6.5.5*, должна применяться к каждой стороне кницы или соединения внахлестку.

5.7.5.4 Если продольный прочный элемент разрезается на главном несущем элементе, и непрерывность в поддержании прочности обеспечивается кницами, то площадь продольного сечения шва A_{weld}, основанная на произведении фактической толщины шва на длину шва, должна быть не менее чем полная площадь сечения элемента. Если продольный элемент изготовлен из стали высокой прочности, то площадь поперечного сечения сварного шва A_{weld} должна быть умножена на поправочный коэффициент f_{yd}, учитывающий предел текучести наплавленного металла согласно *5.7.1.2*.

5.7.5.5 Если ребро жесткости проходит через стенку главного несущего элемента и опирается на нее, сварное соединение должно отвечать требованиям *раздела 4/3.4.3.11*.

5.7.5.6 Если допускается сварка прерывистым швом, неподкрепленные кницами ребра жесткости наружной обшивки, водо– и нефтенепроницаемых переборок, и фронтальных стенок рубок должны иметь с каждого конца двухсторонние непрерывные швы на 1/10 их длины. Неподкрепленные кницами ребра жесткости проницаемых конструктивных переборок, бортовых и кормовых стенок рубок должны иметь пару соответствующих прерывистых швов с каждого конца.

5.8 Сварные швы для конструкций, подверженных высоким растягивающим напряжениям

5.8.1 Минимальный размер катета

5.8.1.1 Если на промежуточный лист действуют высокие растягивающие напряжения (см. *рис. 6.5.11*), то минимальная величина катета l_{leg} двухстороннего непрерывного углового шва должна приниматься как:

$$l_{leg} = 1{,}92 \left(\frac{235}{\sigma_{weld}}\right)^{0{,}75} [0{,}2 + (\frac{\sigma}{270} - 0{,}25) \frac{l_{root}}{t_{p\text{-}grs}}] \, t_{p\text{-}grs} + 2{,}0 \quad \text{мм},$$

где σ максимальное растягивающее напряжение в присоединяемом листе, Н/мм^2;
l_{root} длина поверхности притупления, мм;
$t_{p\text{-}grs}$ полная толщина присоединяемого листа, мм;
σ_{weld} согласно *5.7.1.2*, где σ_{weld} ограничена максимальной величиной, допустимой пределами, наложенными на поправочный коэффициент, учитывающий предел текучести наплавленного металла f_{yd} согласно *5.7.1.2*.

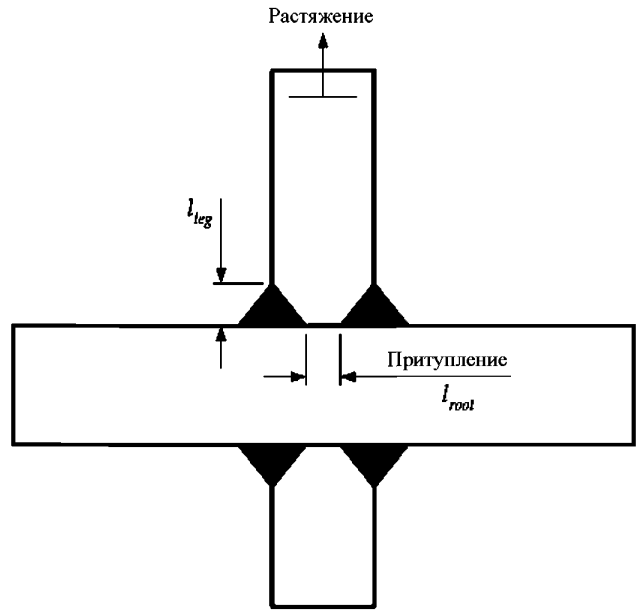
5.9 Уменьшенный размер шва

5.9.1 Общие положения

5.9.1.1 Уменьшение размера углового шва, требуемого согласно *5.7*, может быть одобрено специально в соответствии с любым из пунктов *5.9.2*, *5.9.3* или *5.9.4*.

5.9.1.2 Если принят любой из методов уменьшения калибра шва, то на чертежах должны быть указаны конкретные требования, дающие обоснование для такого уменьшения. Чертежи должны документировать выбор шва и размерные требования к уменьшенному катету шва и требуемому катету согласно *5.7* без допустимого уменьшения величины катета. Должны быть также даны примечания к чертежам для указания различия в обеих величинах катета и требования к их применению.

Рис. 6.5.11
Сварные швы, подверженные высоким растягивающим напряжениям



5.9.2 Контролируемые зазоры

5.9.2.1 Если контроль качества обеспечивает проведение работ с зазором между связями 1 мм или менее, допускается уменьшение размера катета углового шва на 0,5 мм.

5.9.3 Сварка с глубоким проплавлением

5.9.3.1 Если используется одобренный технологический процесс автоматической сварки с глубоким проплавлением, и оборудование для контроля качества приемлемо для зазоров между элементами 1 мм или менее, коэффициенты прочности сварного шва в *табл. 6.5.1*, *6.5.2(в)* и *(г)*, *6.5.4* и *6.5.5* могут быть уменьшены на 15 %. Уменьшение до 20 %, но не более размера катета углового шва 1,5 мм, допустимо при условии, что верфь способна постоянно выполнять следующие требования:

а) сварка выполняется в соответствии с выбранным процессом, подтвержденным испытаниями при минимальном и максимальном зазоре между свариваемыми кромками;
б) проплавление в корне шва, по крайней мере, аналогично уменьшению в соединяемых элементах;
в) наличие системы контроля качества.

5.9.4 Контролируемые сварочные материалы

5.9.4.1 При наличии системы контроля качества, которая гарантирует, что категория применяемого сварочного материала выше, чем минимальная, требуемая для конкретной прочности свариваемой стали, используемые сварочные материалы могут иметь предел текучести наплавленного металла больше минимума, определенного в *5.7.1.2*, и размер шва может определяться, исходя из предела текучести сварочного материала повышенной категории.

5.10 Концевые соединения пиллерсов и распорок

5.10.1 Рабочая площадь поперечного сечения сварного шва

5.10.1.1 Концевые соединения пиллерсов и распорок должны иметь рабочую площадь поперечного сечения углового сварного шва (произведение толщины шва на длину шва) не менее чем:

$$A_{weld} = f_3 \left(\frac{235}{\sigma_{weld}} \right)^{0,75} A_{grs} P \quad \text{см}^2,$$

где A_{grs} полная площадь поперечного сечения пиллерса или распорки, м^2;
P расчетное усилие сжатия для рассматриваемой конструкции, кН/м^2;
σ_{weld} минимальный предел текучести наплавленного металла, согласно *5.7.1.2*, где σ_{weld} ограничивается максимальной величиной, допустимой пределами, определенными для f_{yd} в *5.7.1.2*;
f_3 = 0,05 для пиллерса или распорки только при сжатии;
= 0,14 для пиллерса или распорки при растяжении.

5.11 Альтернативы

5.11.1 Общие положения

5.11.1.1 Вышеупомянутое касалось минимальных требований к электродуговой сварке в корпусных конструкциях, но альтернативные методы, схемы и подробные сведения подлежат специальному рассмотрению в целях одобрения.

5.11.1.2 Во всех случаях должны учитываться ограничения величины катета углового шва в *табл. 6.5.2.*

Таблица 6.5.1

Коэффициенты прочности сварного шва

Объект	**Коэффициент прочности сварного шва**	**Примечания**
	f_{weld}	
1	2	3
(1) Общее назначение		Кроме требуемого в п.п. 2-11
Водонепроницаемые границы	0,43	
Границы проницаемой обшивки	0,18	
Соединение настила прочной палубы с наружной обшивкой	См. *табл. 6.5.3*	
Соединение других палуб с наружной обшивкой и переборками (кроме образующих границы танков)	0,30	Как правило, непрерывные
Соединение ребер жесткости с обшивкой (вне концевых соединений)	0,13	В сухих помещениях
	0,18	В танках
Соединение ребер жесткости с обшивкой на длине 0,1 пролета по концам	0,21	Или протяженности концевой кницы, если больше
Ребра жесткости секций	0,13	
Швы внахлестку	0,36	
Соединение продольных элементов с обшивкой при полной толщине стенки свыше 15 мм	См. *5.7.1.5*	$t_{p\text{-}grs}$ согласно *5.7.1.5*

Продолжение табл. 6.5.1

1	2	3
(2) Конструкция днища в районе грузовых танков		(1)
Соединение проницаемого вертикального киля:		
с килем	0,30	
с внутренним дном	0,28	Без гребенок
Проницаемые границы флоров и балок	0,15	Середина полупролета
	0,24	Концевые четверти пролета
Соединение флоров и балок с внутренним дном в районе:		
вертикальных главных несущих элементов	0,43	(1)
Соединения между флорами и балками	0,36	(1)
Концевые соединения флоров и балок	0,43	(1)
Доковые бракеты	0,30	
(3) Конструкция борта в районе грузовых танков		Включая скуловую бортовую цистерну(1)
Соединение рамных стоек с переборкой внутреннего корпуса:		
в районе рамного бимса/кницы	0,43	
в районе распорки, если применимо	0,36	
в других местах	0,24	
Соединение рамных стоек с наружной обшивкой	0,24	
Концевые соединения рамных стоек	0,43	(1)
(4) Конструкция переборок грузовых танков		Включая насосное отделение и коффердам(1)
Границы продольных и поперечных нефтенепроницаемых переборок:		
соединение с палубой, вторым дном и днищевой обшивкой	0,51	
по бортам	0,43	
Вертикальный гофр:		
у верхнего конца	0,51	
у нижнего конца	См. *5.3.4*	
Границы проницаемой переборки	0,24	
Главные несущие элементы	См. *табл. 6.5.4*	
Соединение между главными несущими элементами	0,49	
(5) Конструкции в машинном помещении		
Соединение вертикального киля с горизонтальным килем и внутренним дном	0,36	
Соединение флоров с вертикальным килем в районе:		
двигателей	0,36	
упорного подшипника и фундамента парового котла	0,36	

1	2	3
Соединение флоров с балками фундамента под главный двигатель Соединение флоров/балок с наружной обшивкой и внутренним дном Соединение балок фундамента под главный двигатель с настилом и основной корпусной конструкцией	0,36 0,24 Частичное проплавление	Кромка должна быть подготовлена с максимальным глубоким проплавлением корня шва $0{,}33t_{p\text{-}grs}$
Фундамент:		
под вспомогательные дизели (> 350 кВт)	0,40	
под паровой котел и другие вспомогательные механизмы	0,35	
Бракеты, поддерживающие фундамент двигателя	0,21	
(6) Конструкция в носовой части на длине 0,25*L*		
В районе плоского днища:		
соединение флоров с наружной обшивкой и вторым дном	0,18	
соединение балок с наружной обшивкой и вторым дном	0,28	
Соединение продольных элементов с наружной обшивкой:		
носовая часть плоского днища	0,30	
в других местах	0,18	
бортовые стрингеры с наружной обшивкой	0,24	
Конструкция форпика:		
внутренние конструкции	0,18	
(7) Конструкция ахтерпика		
Внутренняя конструкция:		
ниже ватерлинии	0,30	
выше ватерлинии	0,18	
(8) Надстройки и рубки		
Соединение наружной переборки с палубой:		
надстройки 1-го и 2-го ярусов	0,28	
в других местах	0,15	
Внутренние переборки	0,12	
(9) Устройства закрытия		
Соединение комингса люка с палубой	0,43	
Задрайки и арматура	0,60	Минимальный коэффициент прочности сварного шва. Если $t_{p\text{-}grs} > 11{,}5$ мм, то для l_{leg} не требуется превышать $0{,}62t_{p\text{-}grs}$. Может потребоваться сварка с проплавлением в зависимости от проекта
Люковые закрытия:		
нефтенепроницаемые соединения	0,46	
водонепроницаемые соединения:		
Снаружи	0,46	

Продолжение табл. 6.5.1

1	2	3
Внутри	0,18	
Люковые закрытия:		
у конца ребра жесткости (кница отсутствует)	0,38	(2)
у конца ребра жесткости (имеется кница)	0,38	
в других местах	0,12	
(10) Палубное оборудование		(3)
Соединение мачт, грузовых колонн, опор кранов и т.п. с палубой	0,43	
Соединение фундаментов палубных механизмов с палубой	0,20	
Фундаменты швартовного оборудования	0,43	
(11) Вспомогательные арматура и оборудование		
Соединение обделки горловин для типовых крышек с судовой конструкцией	0,43	
Шпангоуты наружной обшивки и дверные рамы водонепроницаемых дверей	0,43	
Подкрепление наружной обшивки и водонепроницаемых дверей	0,24	
Соединение вентиляторов, воздушных труб и т.п., комингсов с палубой	0,43	
Вентиляторы и т.п., арматура	0,24	
Соединение шпигатов и стоков с палубой	0,55	
Соединение стоек фальшборта с палубой	0,24	
Крепление фальшборта к палубе	0,43	
Крепление леерного ограждения, стоек и т.п. к палубе	0,43	
Соединение накладной полосы скулового киля с наружной обшивкой	См. *табл. 11.3.1*	
Соединение скулового киля с накладной полосой	См. *табл. 11.3.1*	
Якоря сварные	Полный провар	

Примечание

1. Размер шва должен быть увеличен для районов с высокими растягивающими напряжениями – см. *5.8.*

2. Ребра жесткости при отсутствии книц и стенки люковых закрытий должны привариваться непрерывным сварным швом к обшивке и к пояску на длине концевых участков, равной высоте связи в ее окончании.

3. Коэффициенты прочности сварного шва являются минимальными величинами.

Таблица 6.5.2

Величина катета

Объект	**Минимальная величина катета (1), мм**
1	2
(а) Полная толщина листа $t_{p\text{-}grs} \leq 6{,}5$ мм	
Ручная или автоматическая сварка	4,0
Автоматическая сварка с глубоким проплавлением	4,0

1	2
(б) Полная толщина листа $t_{p\text{-}grs}$ > 6,5 мм	
Ручная или автоматическая сварка	4,5
Автоматическая сварка с глубоким проплавлением	4,0
(в) Сварные швы в пределах 3 м ниже верха балластных цистерн и грузовых танков(2)	6,5
(г) Все сварные швы в районе грузовых танков кроме указанного в (в)	6,0

Примечание

1. Во всех случаях предельное значение должно приниматься как наибольшее из применимых величин, приведенных выше.

2. Применимо только к грузовым танкам и балластным цистернам, верхом которых является открытая палуба.

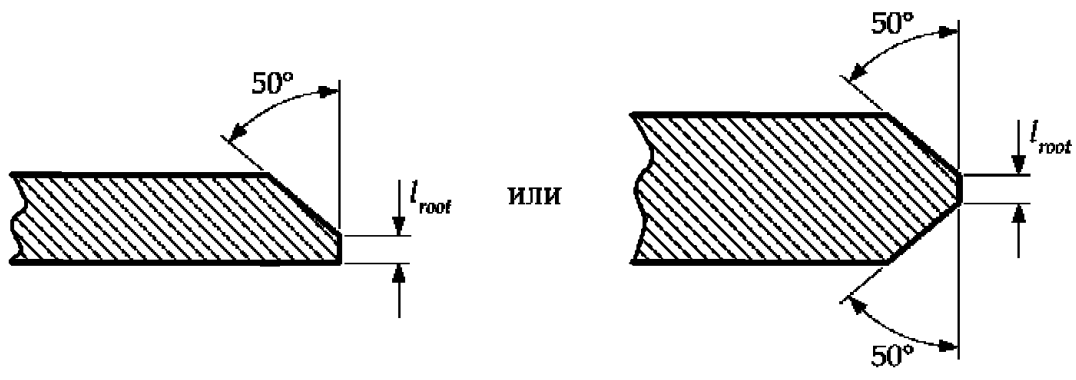
3. Для снижения минимальной величины катета – см. *5.9.3*.

Таблица 6.5.3

Сварное соединение обшивки прочной палубы с ширстреком

Полная толщина листа палубного стрингера, мм	**Тип сварного шва**
$t_{p\text{-}grs} \le 15$	Двухсторонний непрерывный угловой сварной шов с величиной катета 0,60 $t_{p\text{-}grs}$ + 2,0 мм
$15 < t_{p\text{-}grs} \le 20$	V-образная подготовка кромки для обеспечения угла разделки 50° при длине притупления $l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$ в сочетании с непрерывным угловым швом при коэффициенте прочности сварного шва 0,35 **или** К-образная подготовка кромки для обеспечения угла разделки 50° при длине притупления $l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$
$t_{p\text{-}grs} > 20$	К-образная подготовка кромки для обеспечения угла разделки 50° при длине притупления $l_{root} < t_{p\text{-}grs}/3$, но не более 10 мм

где $t_{p\text{-}grs}$ – полная толщина палубного стрингера, мм



V-образная подготовка кромки К-образная подготовка кромки

Примечание

1. Технологический процесс сварки, включая подготовку соединения, должен быть указан и одобрен для конкретных судостроителей.

2. Если конструктивные связи проходят через границу танка, и протечки в смежное помещение опасны или нежелательны, то с каждой стороны границы танка, по крайней мере, на длине 150 мм сварка должна выполняться с полным проваром.

3. Другие соединения подлежат специальному рассмотрению.

Таблица 6.5.4

Соединение главных несущих элементов

Главный несущий элемент, общая площадь торца, см^2		**Положение[1]**	**Коэффициент прочности сварного шва**			
			В танках		**В сухих помещениях**	
Больше, чем	**Не больше, чем**		**Со свободным пояском**	**С обшивкой**	**Со свободным пояском**	**С обшивкой**
	30,0	По концам	0,20	0,26	0,20	0,20
		Остальные места	0,12	0,20	0,12	0,15
30,0	65,0	По концам	0,20	0,38	0,20	0,20
		Остальные места	0,12	0,26	0,12	0,15
65,0	95,0	По концам	0,42	0,59[3]	0,20	0,30
		Остальные места	0,30[2]	0,42	0,15	0,20
95,0	130,0	По концам	0,42	0,59[3]	0,30	0,42
		Остальные места	0,30[2]	0,42	0,20	0,30
130,0		По концам	0,59	0,59[3]	0,42	0,59[3]
		Остальные места	0,42	0,42	0,30	0,42

Примечание

1. Коэффициенты прочности сварного шва по концам должны применяться на 0,2 габаритной длины связи с каждого конца, но, по крайней мере, по окончании концевых книц связи. На рамных стойках усиленная сварка в верхней части может не потребоваться, но должна применяться, по крайней мере, на 0,3 габаритной длины от низа.

2. Для грузовых танков должен использоваться коэффициент прочности сварного шва 0,38.

3. Если для удовлетворения требований к касательным напряжениям увеличивается местная толщина листа стенки, то размер шва может выбираться, исходя из полной толщины стенки вне усиленного района, но должен быть не менее, чем коэффициент прочности сварного шва 0,42, исходя из увеличенной полной толщины.

4. В районах высоких напряжений – см. *5.3.4*, *5.7.4* и *5.8*.

Таблица 6.5.5

Сварные швы концевых соединений ребер жесткости

Соединение	**Площадь поперечного сечения сварного шва, A_{weld}, см^2**	**Коэффициент прочности сварного шва[1]**
(1) Ребро жесткости, приваренное непосредственно к обшивке	$0{,}25A_{sf\text{-}gtrs}$ или 6,5 см^2, смотря, что больше	0,38
(2) Бескничное соединение ребер жесткости, ребро жесткости внахлестку с кницей или кница внахлестку с ребром жесткости		
(а) в сухом помещении	$1{,}2\sqrt{Z_{grs}}$	0,26
(б) в танке	$1{,}4\sqrt{Z_{grs}}$	0,38
(в) шпангоут основного корпуса с бортовой кницей танка на длине 0,15L в носовой части	как (а) или (б)	0,38
(3) Кница, приваренная к торцу ребра жесткости, и соединение кницы с обшивкой	–	0,38

где $A_{stf\text{-}gr}$ общая площадь поперечного сечения ребра жесткости, см^2;

A_{weld} площадь поперечного сечения сварного шва, в см^2, определяется как полная длина шва, в см, умноженная на толщину шва, в см (если зазор между свариваемыми кромками свыше 2 мм, размер шва должен быть увеличен. См. *5.7.1.6*).

Z_{grs} требуемый полный момент сопротивления сечения, в см^3, ребра жесткости, по которому определяются размеры кницы.

Примечание

1. Минимальный размер углового сварного шва – см. *табл.6.5.2*.

РАЗДЕЛ 7. НАГРУЗКИ

1 Введение

1.1 Общие положения

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Настоящий Раздел содержит подробное описание нагрузок и их сочетаний при расчетах размеров связей корпуса судна. Нагрузки включают варианты нагрузки в порту и в море, см. *раздел 2/5.4*, разделяя их на статические составляющие нагрузки, динамические составляющие нагрузки, нагрузки от ударов жидкости о стенки цистерны и ударные нагрузки.

1.2 Определения

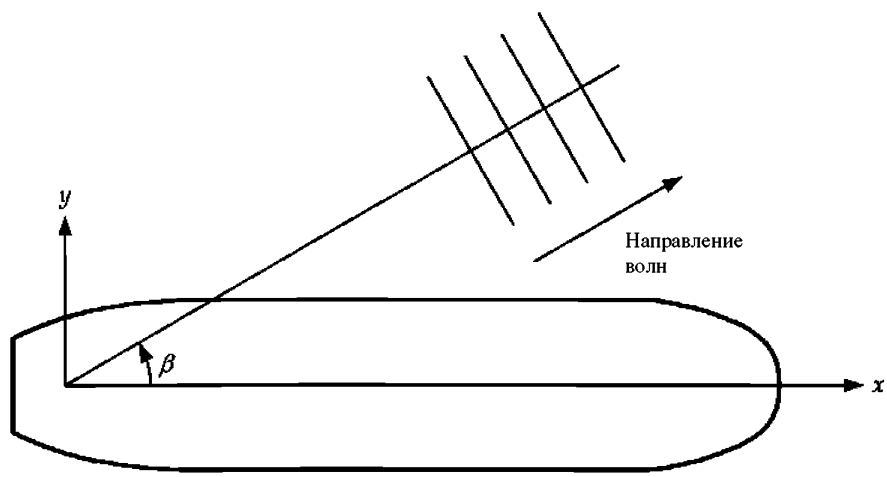
1.2.1 Система координат

1.2.1.1 Применяемая система координат *x, y, z*, как указано в *разделе 4/1.4.1.1.*

1.2.1.2 Направление набегающих волн задается углом β между осью *x* и направлением распространения волн согласно *рис. 7.1.1.* Приведенные примеры:

а) встречные волны представляют собой волны, распространяющиеся в отрицательном направлениии оси *x*;
б) бортовые волны представляют собой волны, распространяющиеся в положительном или отрицательном направлениях оси *x*;
в) косые волны представляют собой волны, распространяющиеся в направлении между встречными и бортовыми (или попутными и бортовыми) волнами;
г) попутные волны представляют собой волны, распространяющиеся в положительном направлениии оси *x*.

Рис. 7.1.1
Определение направления волн

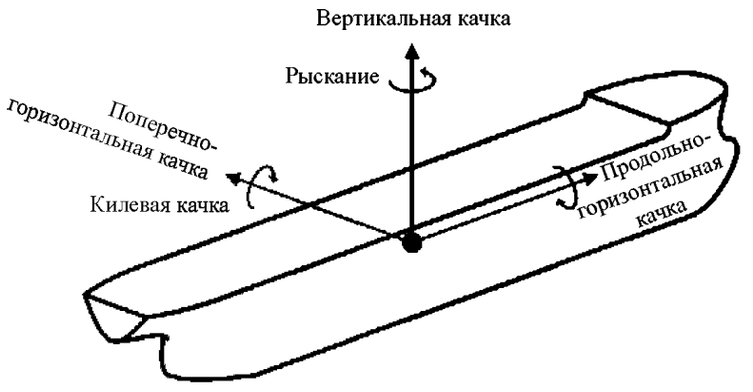


1.2.2 Правило знаков

1.2.2.1 Качкой в положительном направлении, как показано на *рис. 7.1.2*, считается:

а) положительная продольно-горизонтальная качка – перемещение вдоль положительного направления оси *x* (в нос);
б) положительная поперечно-горизонтальная качка – перемещение вдоль положительного направления оси *y* (в направлении левого борта судна);
в) положительная вертикальная качка – перемещение вдоль положительного направления оси *z* (вверх);
г) положительная бортовая качка – правый борт – вниз, левый борт – вверх;
д) положительная килевая качка – нос – вниз, корма – вверх;
е) положительное рыскание – поворот носом к левому борту и кормой – к правому борту.

Рис. 7.1.2
Определение положительных перемещений



Примечание
1. На рисунке показаны оси вращения, а не система координат.

1.2.2.2 Положительные ускорения определяются следующим образом:

а) положительное продольное ускорение – ускорение вдоль положительного направления оси *x* (в нос);
б) положительное поперечное ускорение – ускорение вдоль положительного направления оси *y* (в направлении левого борта судна);
в) положительное вертикальное ускорение – ускорение вдоль положительного направления оси *z* (вверх).

1.2.2.3 Правило знаков для положительной вертикальной перерезывающей силы, действующей на корпус судна, показано на *рис. 7.1.3*.

1.2.2.4 Правило знаков для положительных изгибающих моментов, действующих на корпус судна, представлено на *рис. 7.1.4* и *7.1.5* и определяется следующим образом:

а) положительный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости – момент, вызывающий перегиб корпуса, и отрицательный – вызывающий прогиб корпуса;
б) положительный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости – момент, вызывающий растяжение по правому борту и сжатие по левому борту.

Рис. 7.1.3
Положительная вертикальная перерезывающая сила

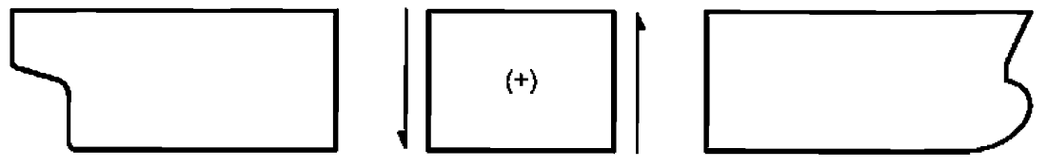


Рис. 7.1.4
Положительный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости

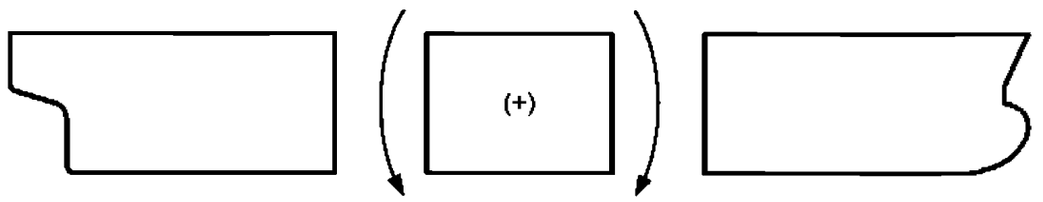
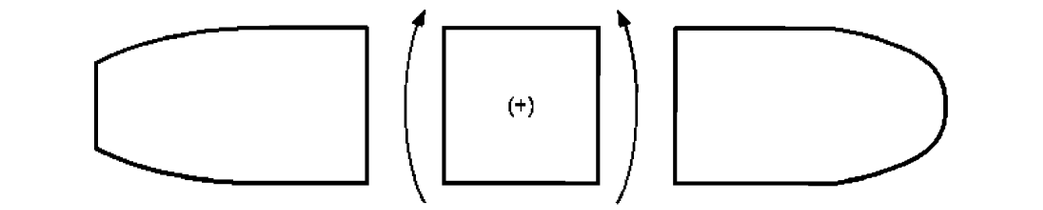


Рис. 7.1.5
Положительный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости



2 Статические составляющие нагрузки

2.1 Статические нагрузки на корпус судна

2.1.1 Допустимый изгибающий момент, действующий на корпус судна на тихой воде

2.1.1.1 Проектировщик должен обеспечить допустимые предельные значения для изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде при переходе морем, $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$, и операциях в порту/ водах, защищенных от волнения, $M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$.

2.1.1.2 Допустимые предельные значения для изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде должны задаваться на каждой поперечной переборке в грузовой зоне, посередине грузовых танков, на таранной переборке, на носовой переборке машинного отделения и посередине расстояния между носовой и кормовой переборками машинного отделения.

2.1.1.3 Допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде определяются линейной интерполяцией между значениями в точках вдоль судна, указанных в *2.1.1.2*.

2.1.1.4 Допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде должны включаться в Инструкцию по загрузке, как указано в *разделе 8/1.1.2*.

2.1.1.5 Допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде для операций при переходе морем, $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$, должны охватывать минимальные изгибающие моменты в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде, указанные в *2.1.2.1*, и наихудшие случаи изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде, рассчитанные для любого варианта нагрузки при переходе морем, указанного в Инструкции по загрузке. Требования к вариантам нагрузки приведены в *разделе 8/1.1.2*.

2.1.1.6 Допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде для операций в порту/водах, защищенных от волнения, $M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$, должны включать минимальные изгибающие моменты в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде, указанные в *2.1.2.2*, и наихудшие случаи изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде, рассчитанные для любого режима нагрузки в порту/водах, защищенных от волнения, указанного в Инструкции по загрузке, и не должны быть меньше диапазона допустимых значений для операций при переходе морем, $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$.

Рекомендации:

Рекомендуется, чтобы в эскизном проекте диапазоны допустимых значений изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде были, по крайней мере, на 5 % больше диапазона значений изгибающих моментов в корпусе судна на тихой воде для вариантов нагрузки, указанных в Инструкции по загрузке, для учета изменений и расчетных запасов на стадиях проектирования и строительства судна.

2.1.2 Минимальный изгибающий момент, действующий на корпус судна на тихой воде

2.1.2.1 Минимальный изгибающий момент, действующий на корпус судна при перегибе и прогибе на тихой воде, для операций при переходе морем, $M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid}$, в районе миделя должен приниматься равным:

при перегибе:

$$M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid} = f_{sea}\,(Z_{v\text{-}min}\,\sigma_{perm\text{-}sea}\,10^3 - M_{wv\text{-}hog}) \quad \text{кНм},$$

который идентичен

$$M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid} = 0{,}01\,C_{wv}\,L^2\,B(11{,}97 - 1{,}9C_b) \quad \text{кНм};$$

при прогибе:

$$M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid} = f_{sea}\,(Z_{v\text{-}min}\,\sigma_{perm\text{-}sea}\,10^3 + M_{wv\text{-}sag}) \quad \text{кНм},$$

который идентичен

$$M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid} = -\,0{,}05185\,C_{wv}\,L^2\,B(C_b + 0{,}7) \quad \text{кНм},$$

где f_{sea} – 0,85 при прогибе;
1,0 при перегибе;

$Z_{v\text{-}min}$ минимальный момент сопротивления эквивалентного бруса согласно Правилам, как указано в *разделе 8/1.2.2.2*, м^3;

$\sigma_{perm\text{-}sea}$ допустимое напряжение при изгибе корпуса судна в районе миделя на переходе морем, как указано в *разделе 8/1.2.3.2*, Н/мм^2;

$M_{wv\text{-}hog}$ предельные значения волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости в средней части судна и вызывающего перегиб судна, как указано в *3.4.1.1*, кНм;

$M_{wv\text{-}sag}$ предельные значения волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости в средней части судна и вызывающего прогиб судна, как указано в *3.4.1.1*, кНм;

C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *3.4.1.1*;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;

B ширина судна, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1*;

C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*.

2.1.2.2 Минимальный изгибающий момент, действующий на корпус судна при перегибе и прогибе на тихой воде, для операций при переходе морем, $M_{sw\text{-}min\text{-}sea}$, в любой точке по длине судна должен приниматься равным:

$M_{sw\text{-}min\text{-}sea} = f_{sw} M_{sw\text{-}min\text{-}sea\text{-}mid}$ кНм,

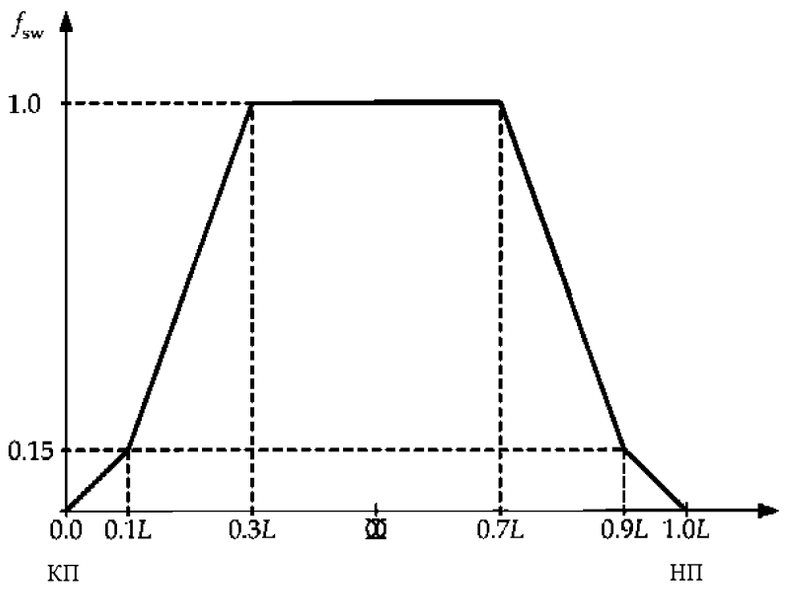
где f_{sw} 1,0 в пределах 0,4L по миделю судна;
0,15 в точке 0,1L от кормового или носового перпендикуляра;
0 на кормовом и носовом перпендикулярах;
промежуточные значения f_{sw} должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.2.1.*

2.1.2.3 Минимальный изгибающий момент, действующий на корпус судна при перегибе и прогибе на тихой воде, для операций в порту/водах, защищенных от волнения, $M_{sw\text{-}min\text{-}harb}$, в любой точке по длине судна должен приниматься равным:

$M_{sw\text{-}min\text{-}harb} = 1{,}25\, M_{sw\text{-}min\text{-}sea}$ кНм,

где $M_{sw\text{-}min\text{-}sea}$ соответствует минимальному изгибающему моменту, действующему на корпус судна при перегибе и прогибе на тихой воде, для операций при переходе морем в рассматриваемом сечении, см. *2.1.2.1* и *2.1.2.2.*

Рис. 7.2.1
Распределение изгибающего момента на тихой воде



2.1.3 Перерезывающая сила на тихой воде

2.1.3.1 Проектировщик должен обеспечить допустимые предельные значения для положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде при переходе морем, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$, и операциях в порту/защищенных водах, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$.

2.1.3.2 Допустимые пределы для положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде должны задаваться на каждой поперечной переборке в грузовой зоне, посередине грузовых танков, на таранной переборке и на носовой переборке машинного отделения.

2.1.3.3 Допустимые предельные значения положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде определяются линейной интерполяцией между значениями в точках вдоль судна, указанных в *2.1.3.2.*

2.1.3.4 Допустимые предельные значения положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде должны быть включены в Инструкцию по загрузке, как указано в *разделе 8/1.1.2.*

2.1.3.5 Допустимые предельные значения положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде для операций при переходе морем, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$, должны включать минимальные положительные и отрицательные перерезывающие силы в корпусе судна на тихой воде, указанные в *2.1.4.1* и *2.1.4.2*, и наихудшие случаи положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде, рассчитанные для любого варианта нагрузки при переходе морем, указанного в Инструкции по загрузке. Требования к вариантам нагрузки приведены в *разделе 8/1.1.2*.

2.1.3.6 Допустимые предельные значения положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде для операций в порту, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$, должны охватывать минимальные положительные и отрицательные перерезывающие силы в корпусе судна на тихой воде, указанные в *2.1.4.3* и *2.1.4.4*, и наихудшие случаи положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде, рассчитанные для любого варианта нагрузки в порту/водах, защищенных от волнения, указанного в Инструкции по загрузке, и не должны быть меньше диапазона допустимых значений для операций при переходе морем, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$.

Рекомендации:

Рекомендуется, чтобы в эскизном проекте диапазон допустимых значений перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде был, по крайней мере, на 10 % больше диапазона значений перерезывающих сил в корпусе судна для вариантов нагрузки, указанных в Инструкции по загрузке, для учета изменений и расчетных запасов на стадиях проектирования и строительства судна.

2.1.4 Минимальная перерезывающая сила в корпусе судна на тихой воде

2.1.4.1 Для судов с двумя продольными переборками минимальная положительная и отрицательная перерезывающая сила в корпусе судна на тихой воде для операций при переходе морем, $Q_{sw\text{-}min\text{-}sea}$, в районе поперечных переборок между центральными грузовыми танками должна приниматься равной:

$$Q_{sw\text{-}min\text{-}sea} = \pm \text{макс} \begin{cases} 0{,}225\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \\ 0{,}5\rho g[0{,}98(V_{CT} + 2V_{ST}) - 0{,}7 B_{local} l_{tk} T_{sc}] \end{cases} \text{ кН}$$

и должна приниматься как максимальное значение $Q_{sw\text{-}min\text{-}sea}$, рассчитанное для грузовых танков/балластных цистерн в нос и корму от поперечной переборки,

где ρ плотность груза/морской воды, но не менее 1,025 т/м^3;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
B_{local} местная ширина судна при осадке T_{sc} посередине длины рассматриваемой цистерны, м;
l_{tk} длина рассматриваемого грузового танка, измеренная в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
V_{CT} объем центрального грузового танка, принятый для грузового танка в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м^3;
V_{ST} объем бортового грузового танка, принятый для грузового танка в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м^3.

2.1.4.2 Для судов с центральной продольной переборкой минимальная положительная и отрицательная перерезывающая сила в корпусе судна на тихой воде для операций при переходе морем, $Q_{sw\text{-}min\text{-}sea}$, в районе поперечных переборок между грузовыми танками должна приниматься равной:

$$Q_{sw\text{-}min\text{-}sea} = \pm 0{,}4\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \text{ кН}$$

и должна приниматься как максимальное значение, $Q_{sw\text{-}min\text{-}sea}$, рассчитанное для грузовых танков/балластных цистерн в нос и корму от поперечной переборки,

где ρ плотность груза/морской воды, но не менее 1,025 т/м^3;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
B_{local} местная ширина судна при осадке T_{sc} посередине длины рассматриваемой цистерны, м;
l_{tk} длина рассматриваемого грузового танка, измеренная в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*.

2.1.4.3 Для судов с двумя продольными переборками минимальная положительная и отрицательная перерезывающая сила в корпусе судна на тихой воде для операций в порту/водах, защищенных от волнения, $Q_{sw\text{-}min\text{-}harb}$, в районе поперечных переборок между центральными грузовыми танками должна приниматься равной:

$$Q_{sw\text{-}min\text{-}harb} = \pm \text{макс} \begin{cases} 0{,}275\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \\ 0{,}5\rho g[0{,}98(V_{CT} + 2V_{ST}) - 0{,}6 B_{local} l_{tk} T_{sc}] \end{cases} \text{ кН}$$

и должна приниматься как максимальное значение, $Q_{sw\text{-}min\text{-}harb}$, рассчитанное для грузовых танков/балластных цистерн в нос и корму от поперечной переборки,

где ρ плотность груза/морской воды, но не менее 1,025 т/м^3;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
B_{local} местная ширина судна при осадке T_{sc} посередине длины рассматриваемой цистерны, м;
l_{tk} длина рассматриваемого грузового танка, измеренная в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
V_{CT} объем центрального грузового танка, принятый для грузового танка в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м^3;
V_{ST} объем бортового грузового танка, принятый для грузового танка в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м^3.

2.1.4.4 Для судов с центральной продольной переборкой минимальная положительная и отрицательная перерезывающая сила в корпусе судна на тихой воде для операций в порту/водах, защищенных от волнения, $Q_{sw\text{-}min\text{-}harb}$, в районе поперечных переборок между грузовыми танками должна приниматься равной:

$$Q_{sw\text{-}min\text{-}harb} = \pm 0{,}45\rho g B_{local} l_{tk} T_{sc} \text{ кН}$$

и должна приниматься как максимальное значение, $Q_{sw\text{-}min\text{-}harb}$, рассчитанное для грузовых танков/балластных цистерн в нос и корму от поперечной переборки,

где ρ плотность груза/морской воды, но не менее 1,025 т/м^3;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
B_{local} местная ширина судна при осадке T_{sc} посередине длины рассматриваемой цистерны, м;
l_{tk} длина рассматриваемого грузового танка, измеренная в нос или в корму от рассматриваемой поперечной переборки, м;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*.

2.2 Местные статические нагрузки

2.2.1 Общие положения

2.2.1.1 Рассматриваются следующие статические нагрузки:

а) статическое давление со стороны моря;
б) статическое давление в цистерне;
в) избыточное давление в цистерне;
г) статическая нагрузка на палубные конструкции.

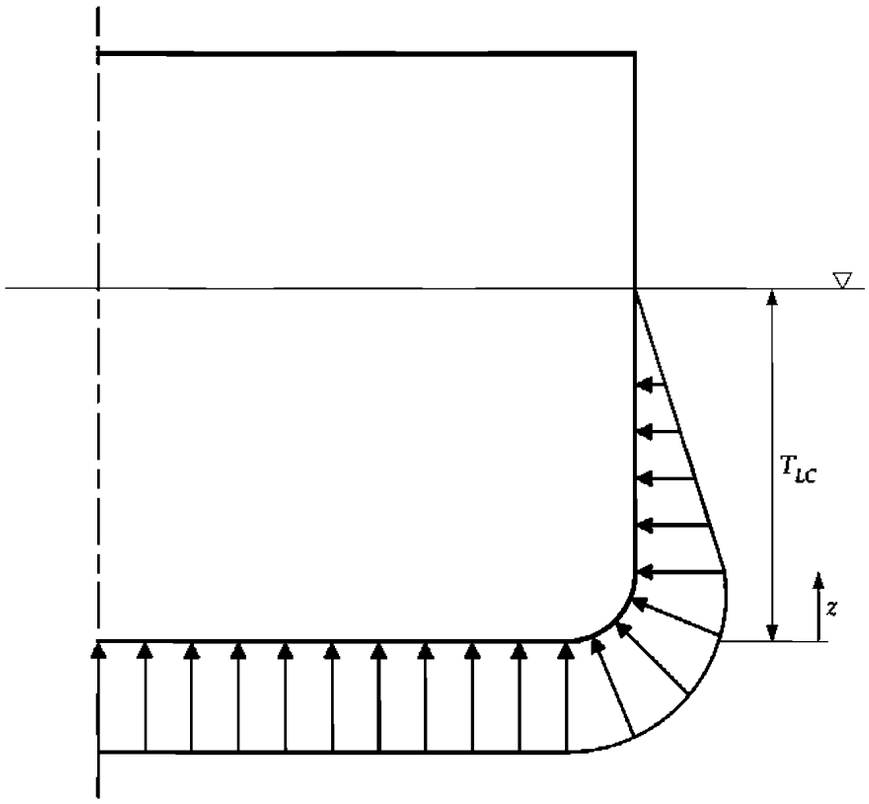
2.2.2 Статическое давление со стороны моря

2.2.2.1 Статическое давление со стороны моря, P_{hys}, должно приниматься равным:

$$P_{hys} = \rho_{sw} g(T_{LC} - z) \text{ кН/м}^2,$$

где z вертикальная координата точки приложения нагрузки, м, но не более T_{LC} (см. *рис. 7.2.2*);
ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м^3;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2.

Рис. 7.2.2
Статическое давление со стороны моря



2.2.3 Статическое давление в цистерне

2.2.3.1 Статическое давление в цистерне, $P_{in\text{-}tk}$, должно приниматься равным:

$$P_{in\text{-}tk} = \rho g z_{tk} \quad \text{кН/м}^2,$$

где z_{tk} вертикальное расстояние от самой высокой точки цистерны, исключая малые люки, до точки приложения нагрузки, см. *рис. 7.2.3*, м;

ρ плотность жидкости в цистерне, не должна приниматься менее 0,9 при оценке усталостной прочности для жидкого груза (см. *раздел 2/3.1.8*), в иных случаях 1,025 т/м^3;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2.

2.2.3.2 Статическое давление в цистерне, $P_{in\text{-}air}$, в случае переполнения или заполнения в процессе замены балластной воды методом прокачки должно приниматься равным:

$$P_{in\text{-}air} = \rho_{sw} g z_{air} \quad \text{кН/м}^2,$$

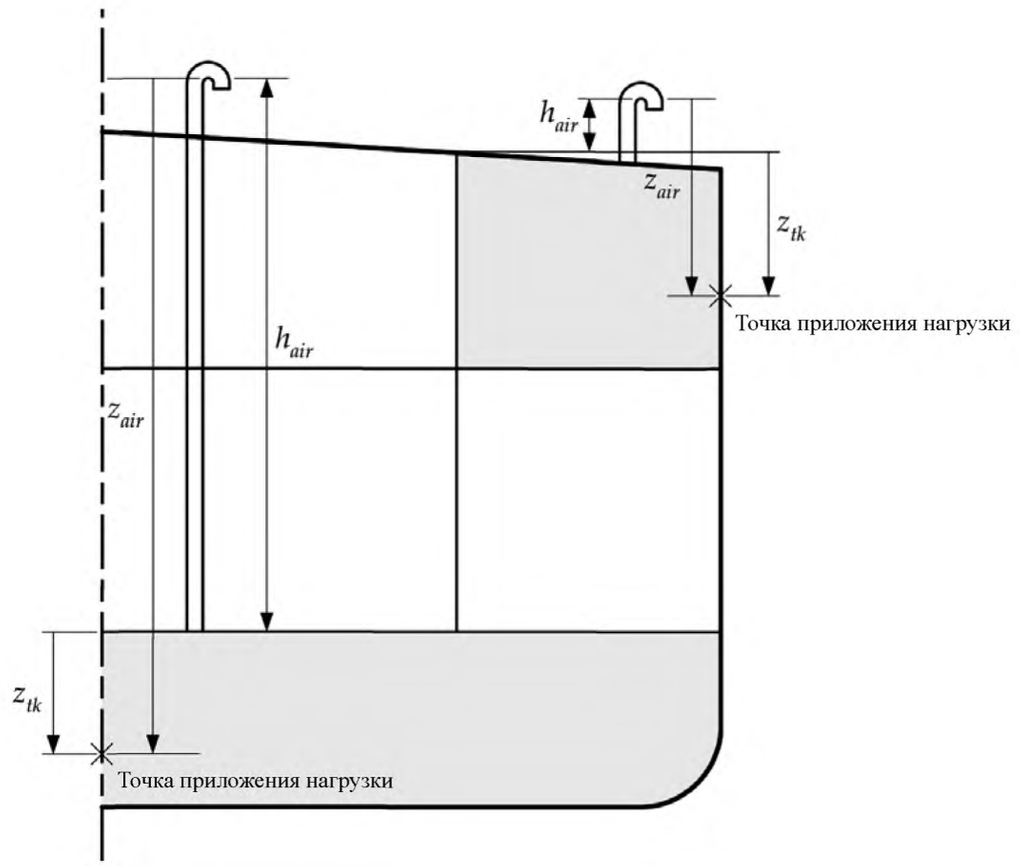
где z_{air} вертикальное расстояние от верха воздушной или переливной трубы до точки приложения нагрузки, в зависимости от того, что меньше, см. *рис. 7.2.3*, м;
$= z_{tk} + h_{air}$;

ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м^3;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;

h_{air} высота воздушной или переливной трубы, м, не менее 0,76 м над самой высокой точкой цистерны, исключая малые люки. Для цистерн с двойным дном непосредственно под открытой палубой высота воздушной трубы над палубой у борта не должна приниматься менее 0,76 м, если для цистерн не предусмотрена переливная или аналогичная цистерна. См. также *рис. 7.2.3*.

Рис. 7.2.3
Гидростатический напор и расстояния, используемые при расчете статического давления в цистерне



2.2.3.3 Дополнительное избыточное давление, P_{drop}, при продолжительном потоке жидкости через воздушную или переливную трубу в случае переполнения или заполнения при замене балластной воды методом прокачки должно приниматься равным 25 кН/м². Если разводка трубопроводов может привести к более высокому перепаду давления, например, при наличии длинных трубопроводов или устройств, таких как погибы и клапаны, то могут потребоваться дополнительные расчеты.

2.2.3.4 Давление, $P_{in\text{-}flood}$, в отсеках и цистернах в затопленном или аварийном состоянии должно приниматься равным:

$$P_{in\text{-}flood} = \rho_{sw}\, g z_{flood} \quad \text{кН/м}^2,$$

где z_{flood} вертикальное расстояние от точки приложения нагрузки до самой высокой ватерлинии равновесия в аварийном состоянии, полученное из соответствующих расчетов аварийной остойчивости, или до палубы надводного борта, если аварийная ватерлиния не задана, м;

ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м³;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с².

2.2.3.5 Испытательное давление в цистерне, $P_{in\text{-}test}$, должно приниматься как наибольшее из указанных ниже значений, см. также требования к испытаниям в *табл. 11.5.1*:

$$P_{in\text{-}test} = \rho_{sw}\, g z_{test} \quad \text{кН/м}^2;$$

$$P_{in\text{-}test} = \rho_{sw}\, g z_{tk} + P_{valve} \quad \text{кН/м}^2,$$

где z_{test} вертикальное расстояние до точки приложения нагрузки, должно приниматься как наибольшее из следующих значений, м;
а) верхняя точка перелива;
б) 2,4 м над вторым дном;
z_{tk} вертикальное расстояние от самой высокой точки цистерны, исключая малые люки, до точки приложения нагрузки, см. *рис. 7.2.3*, м;
ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м³;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с²;
P_{valve} уставка предохранительного клапана, если имеется, но не менее 25 кН/м².

2.2.4 Статическое давление на палубные конструкции под действием распределенной нагрузки

2.2.4.1 Давление на палубные конструкции и второе дно, P_{stat}, должно приниматься равным:

$$P_{stat} = P_{deck} \quad \text{кН/м}^2,$$

где P_{deck} равномерно распределенное давление на нижние палубы и палубы в пределах надстроек, включая платформы в главном машинном отделении и других помещениях с тяжеловесным механическим оборудованием, кН/м². P_{deck} не должно приниматься менее 16 кН/м². Расчетное давление для палуб рубок указано в *разделе 11/1.4*.

2.2.5 Статические нагрузки на палубные конструкции от тяжеловесных агрегатов

2.2.5.1 Размеры связей корпуса в районе тяжеловесных грузовых единиц и оборудования должны учитывать действующие силы тяжести, если масса грузовых единиц и оборудования составляет 20 т или более. Нагрузка, действующая на опорные конструкции и системы крепления для тяжеловесных грузовых единиц, оборудования, или на конструктивные элементы, F_{stat}, должна приниматься равной:

$$F_{stat} = m_{un} g \quad \text{кН},$$

где m_{un} масса агрегата, т;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с².

3 Динамические составляющие нагрузки

3.1 Общие положения

3.1.1 Основные составляющие

3.1.1.1 В настоящем Подразделе приведены формулы для качки и ускорений судна.

3.1.1.2 Приводятся также формулы для предельного значения основных динамических составляющих нагрузки. Основные составляющие нагрузки следующие:

а) волновой изгибающий момент и перерезывающая сила, действующие в вертикальной плоскости;
б) волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости;
в) динамическое волновое давление;
г) динамическое давление в цистерне.

3.1.2 Предельные значения нагрузки

3.1.2.1 Предельные значения нагрузок для требований к размерам связей и для оценки прочности приводятся при уровне вероятности 10^{-8}, в то время как для усталостной прочности – при уровне вероятности 10^{-4}.

3.1.2.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности приводятся поправочные коэффициенты для учета нелинейных воздействий и эксплуатационных особенностей в штормовую погоду.

3.1.2.3 Для оценки усталостной прочности диапазон значений нагрузки с помощью коэффициента переводится с уровня вероятности 10^{-8} на уровень 10^{-4}. Учитывается поправочный коэффициент по скорости, если применимо.

3.1.2.4 Предельное значение – долговременное значение при заданном уровне вероятности, учитывающее влияние всех направлений движения волн.

3.1.3 Метацентрическая высота и радиус инерции относительно продольной оси

3.1.3.1 Метацентрическая высота, *GM*, и радиус инерции относительно продольной оси, $r_{roll\text{-}gyr}$, связанные с вариантами нагрузки согласно Правилам или заданными осадками, приведены в *табл. 7.3.1*.

Таблица 7.3.1

Метацентрическая высота, *GM*, и радиус инерции, $r_{roll\text{-}gyr}$

	T_{LC}	GM	$r_{roll\text{-}gyr}$
В грузу при большой осадке	между $0{,}9T_{sc}$ и T_{sc}	$0{,}12B$	$0{,}35B$
В грузу при уменьшенной осадке	$0{,}6T_{sc}$	$0{,}24B$	$0{,}40B$
В балласте	T_{bal}	$0{,}33B$	$0{,}45B$

где B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1*;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
T_{bal} осадка в балласте, м.

3.1.3.2 Для дополнительных вариантов нагрузки метацентрическая высота, *GM*, должна приниматься как исправленная метацентрическая высота, приведенная в Инструкции по загрузке. Если для дополнительных вариантов нагрузки в грузу или балласте в условиях шторма/аварии метацентрическая высота, *GM*, не задана, то она должна приниматься как $0{,}12B$ для средней осадки больше или равной $0{,}9T_{sc}$, и как $0{,}24B$ для средней осадки, равной или меньше $0{,}6T_{sc}$. Для дополнительных вариантов нагрузки со средней осадкой иной, чем указанные значения, метацентрическая высота, *GM*, должна определяться линейной интерполяцией на основе значений для осадок $0{,}6T_{sc}$ и $0{,}9T_{sc}$.

3.1.3.3 Если не предусмотрено согласно Инструкции по загрузке, радиус инерции относительно продольной оси, $r_{roll\text{-}gyr}$, для дополнительных вариантов нагрузки в грузу или балласте в условиях шторма/аварии должен приниматься $0{,}35B$ для средней осадки больше или равной $0{,}9T_{sc}$, и $0{,}4B$ для средней осадки, равной или меньше $0{,}6T_{sc}$. Для дополнительных вариантов нагрузки со средней осадкой иной, чем указанные значения, радиус инерции относительно продольной оси, $r_{roll\text{-}gyr}$, может быть определен линейной интерполяцией на основе значений для осадок $0{,}6T_{sc}$ и $0{,}9T_{sc}$.

3.1.3.4 Для вариантов нагрузки, используемых для оценки усталостной прочности, метацентрическая высота, *GM*, должна приниматься как исправленная метацентрическая высота, указанная в Инструкции по загрузке. Если последняя отсутствует, метацентрическая высота, *GM*, должна приниматься согласно *табл. 7.3.1* для варианта нагрузки в балласте и согласно процедуре, указанной в *3.1.3.2*, для варианта нагрузки в грузу. Радиус инерции относительно продольной оси, $r_{roll\text{-}gyr}$, если он не основан на варианте нагрузки, должен приниматься согласно *табл. 7.3.1* для варианта нагрузки в балласте и согласно процедуре, указанной в *3.1.3.3*, для варианта нагрузки в грузу.

3.2 Качка

3.2.1 Общие положения

3.2.1.1 Предельные значения характеристик для качки судна приведены для уровня вероятности 10^{-8}.

3.2.2 Бортовая качка

3.2.2.1 Период свободной бортовой качки, U_{roll}, должен приниматься равным:

$$U_{roll-gyr} = \frac{2{,}30 r_{roll-gyr}}{\sqrt{GM}} \text{ с,}$$

где GM метацентрическая высота, м, как указано в *3.1.3*;
$r_{roll-gyr}$ радиус инерции относительно продольной оси, м, как указано в *3.1.3*.

3.2.2.2 Угловая амплитуда бортовой качки, θ, должна приниматься равной:

$$\theta = \frac{50}{B + 75}(1{,}25 - 0{,}025\, U_{roll}) f_{bk} \text{ рад,}$$

где f_{bk} 1,2 для судов без скуловых килей;
1,0 для судов со скуловыми килями;
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1*;
U_{roll} период свободной бортовой качки, с, как указано в *3.2.2.1*.

3.2.3 Килевая качка

3.2.3.1 Характерный период килевой качки, U_{pitch}, должен приниматься равным:

$$U_{pitch} = f_V \sqrt{0{,}6 \frac{2\pi}{g}(1 + f_T) L} \text{ с,}$$

где $f_V = 1{,}0 + \frac{V_0}{V}\left(\frac{L}{525} - 0{,}67\right)$;

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{sc}};$$

V_0 скорость судна, узл., должна приниматься равной:
0 для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности;
0,75V для оценки усталостной прочности;
V максимальная эксплуатационная скорость, узл., как указано в *разделе 4/1.1.8.1*;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

3.2.3.2 Угловая амплитуда килевой качки, φ, должна приниматься равной:

$$\varphi = 960\left(\frac{V_1}{C_b}\right)^{0{,}25} \frac{1}{L} \frac{\pi}{180} \text{ рад,}$$

где V_1 скорость судна, узл., должна приниматься равной V, но не менее 10 узлов;
V максимальная эксплуатационная скорость, узл., как указано в *разделе 4/1.1.8.1*;
C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

3.3 Ускорения судна

3.3.1 Общие положения

3.3.1.1 Приводятся предельные значения для комбинированных поступательных ускорений, возникающих вследствие качки в шести степенях свободы. Поперечная и продольная составляющие ускорения включают составляющую силы тяжести вследствие бортовой и килевой качки.

3.3.2 Общий параметр ускорения

3.3.2.1 Общий параметр ускорения, a_0, должен приниматься равным:

$$a_0 = (1{,}58 - 0{,}47C_b)\left(\frac{2{,}4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2}\right),$$

где C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

3.3.3 Вертикальное ускорение

3.3.3.1 Предельное значение вертикального ускорения, a_v, в любом месте должно приниматься равным:

$$a_v = f_{prob}\sqrt{a^2_{heave} + a^2_{pitch\text{-}z} + a^2_{roll\text{-}z}} \quad \text{м/с}^2,$$

где a_{heave} вертикальное ускорение вследствие вертикальной качки должно приниматься как:
$= f_V a_0 g$ м/с^2;

$a_{pitch\text{-}z}$ вертикальное ускорение вследствие килевой качки должно приниматься как:

$$= \left(0{,}3 + \frac{L}{325}\right)\varphi\left(\frac{2\pi}{U_{pitch}}\right)^2 |x - 0{,}45L| \quad \text{м/с}^2;$$

$a_{roll\text{-}z}$ вертикальное ускорение вследствие бортовой качки должно приниматься как:

$$= 1{,}2\,\theta\left(\frac{2\pi}{U_{roll}}\right)^2 |y| \quad \text{м/с}^2;$$

a_0 общий параметр ускорения, как указано в *3.3.2.1*;
g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
φ угловая амплитуда килевой качки, рад., как указано в *3.2.3.2*;
U_{pitch} период килевой качки, с, как указано в *3.2.3.1*;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;
θ угловая амплитуда бортовой качки, рад., как указано в *3.2.2.2*;
U_{roll} период свободной бортовой качки, с, как указано в *3.2.2.1*;
x продольная координата, м;
y поперечная координата, м;
f_{prob} как указано в *3.3.3.2* и *3.3.3.3* соответственно;
f_V как указано в *3.3.3.2* и *3.3.3.3* соответственно.

3.3.3.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности:
f_{prob} должно приниматься равным 1,0;
f_V должно приниматься равным 1,0.

3.3.3.3 Для оценки усталостной прочности:
f_{prob} должно приниматься равным 0,45;

$$f_V = \left(\frac{C_{b\text{-}LC}}{C_b}\right)^2\left(1{,}2 - \frac{L}{1000}\right),$$

где $C_{b\text{-}LC}$ коэффициент общей полноты для рассматриваемого варианта нагрузки;
C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

3.3.4 Поперечное ускорение

3.3.4.1 Предельное значение поперечного ускорения, a_t, в любом месте должно приниматься равным:

$$a_t = f_{prob}\sqrt{a^2_{sway} + (g\sin\theta + a_{roll\text{-}y})^2} \quad \text{м/с}^2,$$

где a_{sway} поперечное ускорение вследствие поперечно-горизонтальной качки и рыскания, должно приниматься как:
$= 0{,}3ga_0$ м/с^2;
$a_{roll\text{-}y}$ поперечное ускорение вследствие бортовой качки, должно приниматься как:

$$= \theta\left(\frac{2\pi}{U_{roll}}\right)^2 R_{roll} \quad \text{м/с}^2;$$

θ угловая амплитуда бортовой качки, рад., как указано в *3.2.2.2*;
U_{roll} период свободной бортовой качки, с, как указано в *3.2.2.1*;

$$R_{roll} = z - \left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}\right) \text{ или } z - \left(\frac{D}{2}\right), \text{ в зависимости от того, что больше, м;}$$

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
a_0 общий параметр ускорения, как указано в *3.3.2.1*;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
D высота борта, как указано в *разделе 4/1.1.4.1*;
z вертикальная координата, м;
f_{prob} как указано в *3.3.4.2* или *3.3.4.3* соответственно.

3.3.4.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности:
f_{prob} должно приниматься равным 1,0.

3.3.4.3 Для оценки усталостной прочности:
f_{prob} должно приниматься равным 0,5.

3.3.5 Продольное ускорение

3.3.5.1 Предельное значение продольного ускорения, a_{lng}, в любом месте должно приниматься равным:

$$a_{lng} = 0{,}7f_{prob}\sqrt{a^2_{surge} + \left(\frac{L}{325}(g\sin\varphi + a_{pitch\text{-}x})\right)^2} \quad \text{м/с}^2,$$

где a_{surge} продольное ускорение вследствие продольно-горизонтальной качки, должно приниматься как:
$= 0{,}2ga_0$ м/с^2;
$a_{pitch\text{-}x}$ продольное ускорение вследствие килевой качки, должно приниматься как:

$$= f_V\varphi\left(\frac{2\pi}{U_{pitch}}\right)^2 R_{pitch} \quad \text{м/с}^2;$$

φ угловая амплитуда килевой качки, рад., как указано в *3.2.3.2*;
U_{pitch} период килевой качки, с, как указано в *3.2.3.1*;
радиус килевой качки, должен приниматься более чем

$$R_{pitch} = z - \left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}\right) \text{ или } z - \left(\frac{D}{2}\right), \text{ м;}$$

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2;
a_0 общий параметр ускорения, как указано в *3.3.2.1*;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
D высота борта, как указано в *разделе 4/1.1.4.1*, м;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;
z вертикальная координата, м;
f_{prob} как указано в *3.3.5.2* и *3.3.5.3* соответственно;
f_V как указано в *3.3.5.2* и *3.3.5.3* соответственно.

3.3.5.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности:

f_{prob} должно приниматься равным 1,0;

f_V должно приниматься равным 1,0.

3.3.3.3 Для оценки усталостной прочности:

f_{prob} должно приниматься равным 0,5;

f_V должно приниматься равным 1,7.

3.4 Динамические нагрузки на корпус судна

3.4.1 Волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости

3.4.1.1 Предельные значения волновых изгибающих моментов, действующих в вертикальной плоскости, при перегибе и прогибе, $M_{wv\text{-}hog}$ и $M_{wv\text{-}sag}$, должны приниматься равными:

$$M_{wv\text{-}hog} = f_{prob}\, 0{,}19\, f_{wv\text{-}v}\, C_{wv}\, L^2 B C_b$$

кНм,

$$M_{wv\text{-}sag} = -f_{prob}\, 0{,}11\, f_{wv\text{-}v}\, C_{wv}\, L^2 B (C_b + 0{,}7)$$

где $f_{wv\text{-}v}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, по длине судна, см. *3.4.1.2* или *3.4.1.3* соответственно;

C_{wv} волновой коэффициент, принимаемый как:

$= 10{,}75 - \left(\dfrac{300 - L}{100}\right)^{3/2}$ при $150 \le L \le 300$;

$= 10{,}75$ при $300 < L \le 350$;

$= 10{,}75 - \left(\dfrac{L - 350}{150}\right)^{3/2}$ при $350 < L \le 500$;

L длина судна согласно Правилам, м , как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;

B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1*;

C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*.

3.4.1.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности:

$f_{wv\text{-}v}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

1,0 на длине $0{,}4L - 0{,}65L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.3.1*;

f_{prob} должен приниматься равным 1,0;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

3.4.1.3 Для оценки усталостной прочности:

$f_{wv\text{-}v}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

0,1 в точке $0{,}1L$ от кормового перпендикуляра;

1,0 на длине $0{,}4L - 0{,}65L$ от кормового перпендикуляра;

0,1 в точке $0{,}9L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.3.2*;

f_{prob} должно приниматься равным 0,5;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

Рис. 7.3.1
Распределение волновых изгибающих моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в соответствии с требованиями к размерам связей корпуса и для оценки прочности

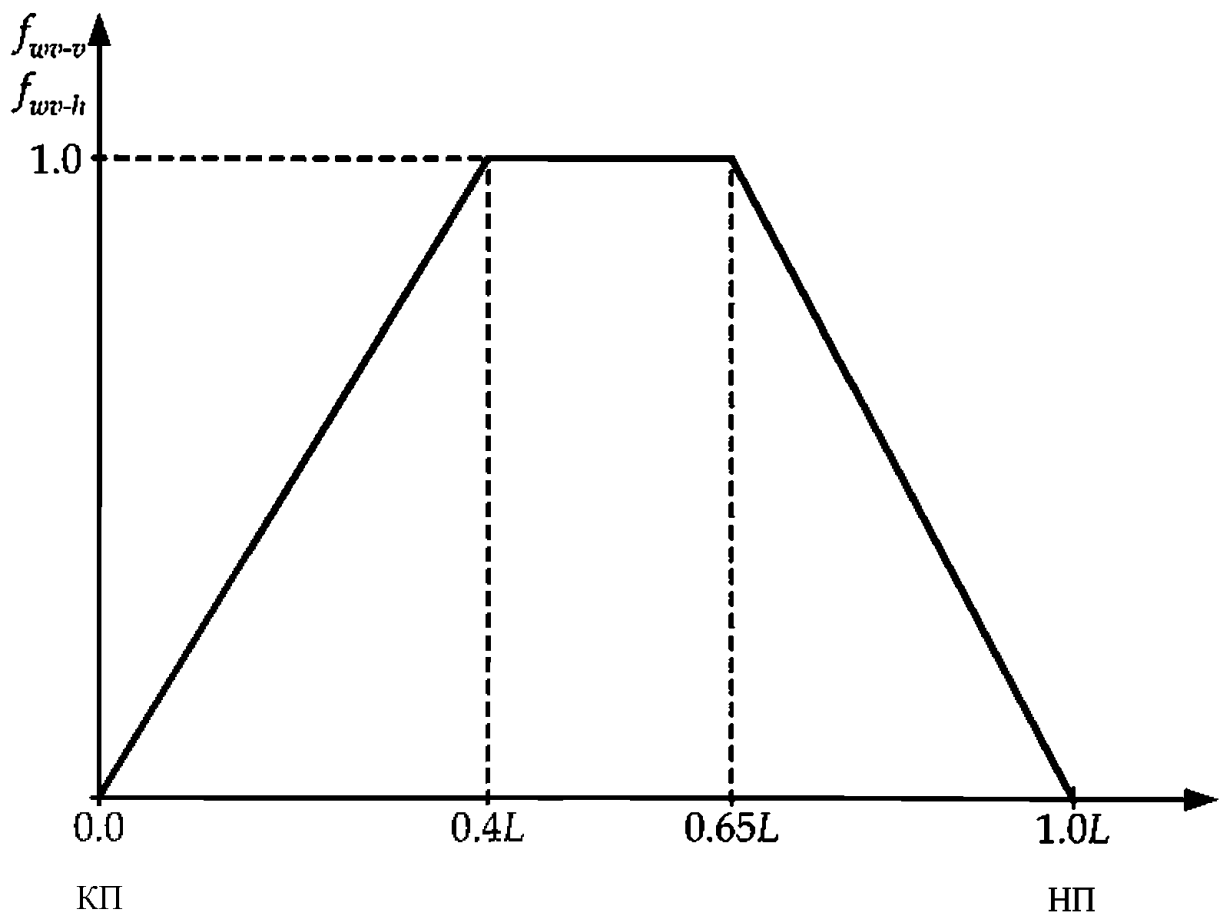
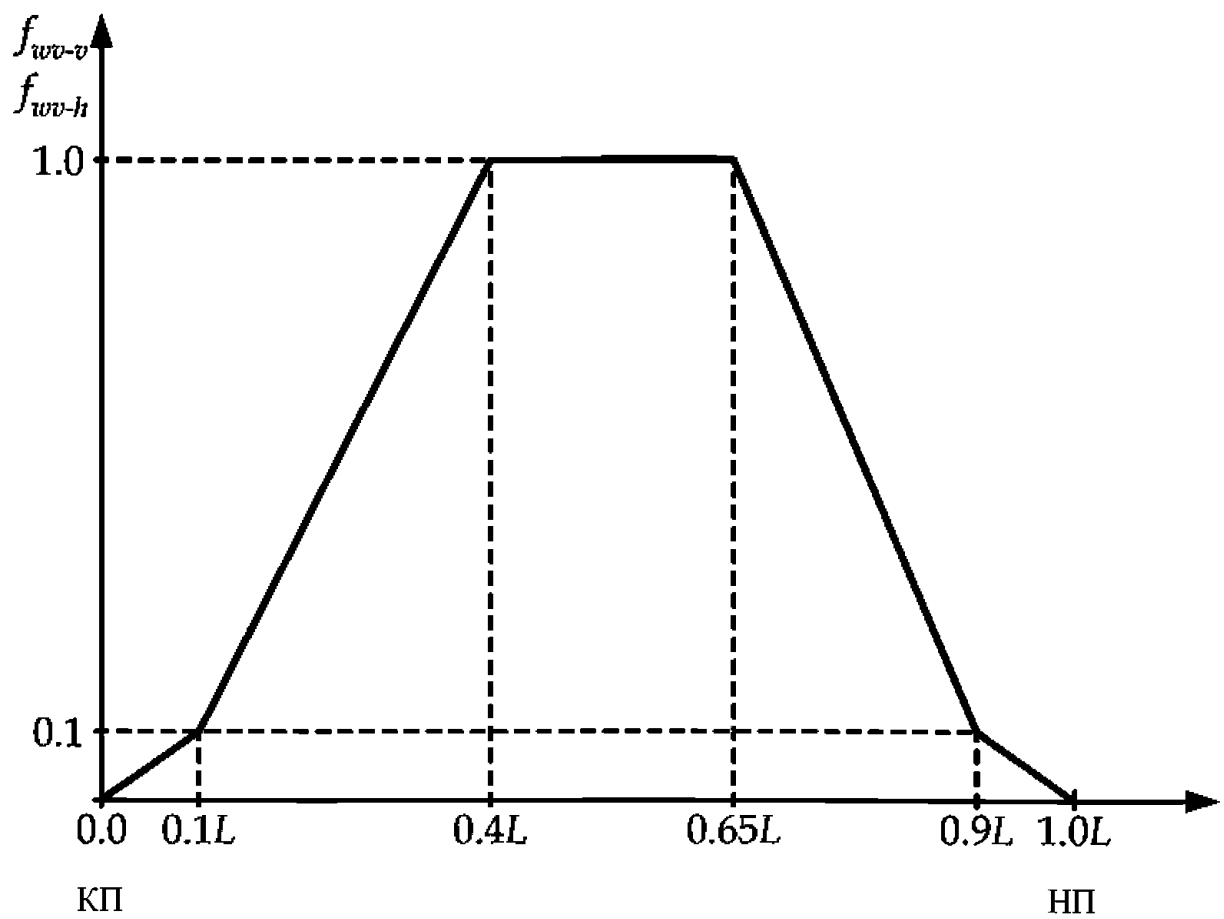


Рис. 7.3.2
Распределение волновых изгибающих моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскостях, для оценки усталостной прочности



3.4.2 Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости

3.4.2.1 Предельное значение волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, $M_{wv\text{-}h}$, должно приниматься равным:

$$M_{wv\text{-}h} = f_{prob}\left(0{,}3 + \frac{L}{2000}\right) f_{wv\text{-}h} C_{wv} L^2 T_{LC} C_b \quad \text{кНм},$$

где $f_{wv\text{-}h}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, по длине судна, см. *3.4.2.2* или *3.4.2.3* соответственно;

C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *3.4.1.1;*

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;

C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1.*

3.4.2.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности:

$f_{wv\text{-}h}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

1,0 на длине $0{,}4L - 0{,}65L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.3.1;*

f_{prob} должно приниматься равным 1,0;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1.*

3.4.2.3 Для оценки усталостной прочности:

$f_{wv\text{-}h}$ коэффициент распределения для волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

0,1 в точке $0{,}1L$ от кормового перпендикуляра;

1,0 на длине $0{,}4L - 0{,}65L$ от кормового перпендикуляра;

0,1 в точке $0{,}9L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.3.2;*

f_{prob} должен приниматься равным 0,5;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1.*

3.4.3 Вертикальная волновая перерезывающая сила

3.4.3.1 Предельные значения положительных и отрицательных вертикальных волновых перерезывающих сил, $Q_{wv\text{-}pos}$ и $Q_{wv\text{-}neg}$, должны приниматься равными:

$$Q_{wv\text{-}pos} = 0{,}3 f_{qwv\text{-}pos} C_{wv} LB(C_b + 0{,}7)$$

$$Q_{wv\text{-}neg} = -0{,}3 f_{qwv\text{-}neg} C_{wv} LB(C_b + 0{,}7) \quad \text{кН},$$

где $f_{qwv\text{-}pos}$ коэффициент распределения для положительной вертикальной волновой перерезывающей силы по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

$1{,}59\dfrac{C_b}{(C_b + 0{,}7)}$ на длине $0{,}2L - 0{,}3L$ от кормового перпендикуляра;

0,7 на длине $0{,}4L - 0{,}6L$ от кормового перпендикуляра;

1,0 на длине $0{,}7L - 0{,}85L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

$f_{qwv\text{-}neg}$ коэффициент распределения для отрицательной вертикальной волновой перерезывающей силы по длине судна должен приниматься равным:

0,0 на кормовом перпендикуляре;

0,92 на длине $0{,}2L - 0{,}3L$ от кормового перпендикуляра;

0,7 на длине $0{,}4L - 0{,}6L$ от кормового перпендикуляра;

$1{,}73\dfrac{C_b}{(C_b+0{,}7)}$ на длине $0{,}7L - 0{,}85L$ от кормового перпендикуляра;

0,0 на носовом перпендикуляре;

промежуточные значения $f_{qwv\text{-}pos}$ и $f_{qwv\text{-}neg}$ должны определяться линейной интерполяцией, см. *рис. 7.3.3* и *7.3.4* соответственно;

C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *3.4.1.1;*

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*

C_b коэффициент общей полноты как указано в *разделе 4/1.1.9.1.*

Рис. 7.3.3
Распределение положительной вертикальной волновой перерезывающей силы

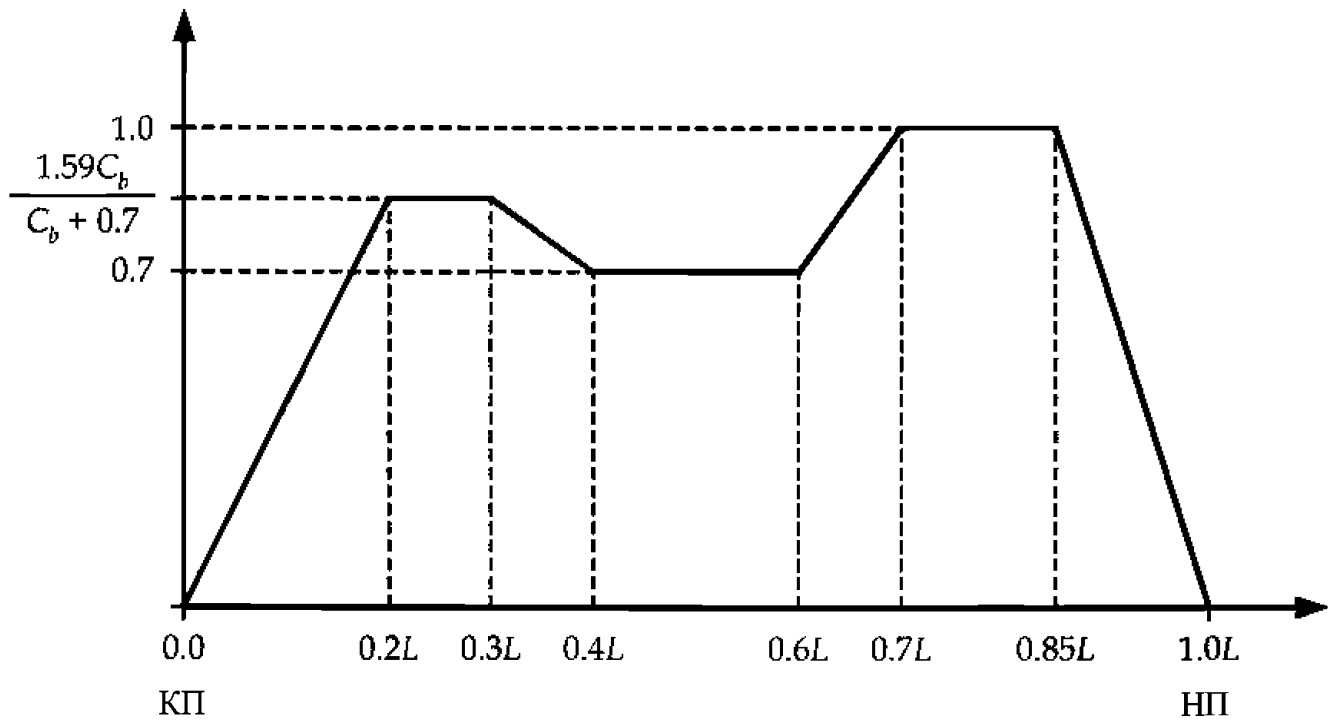
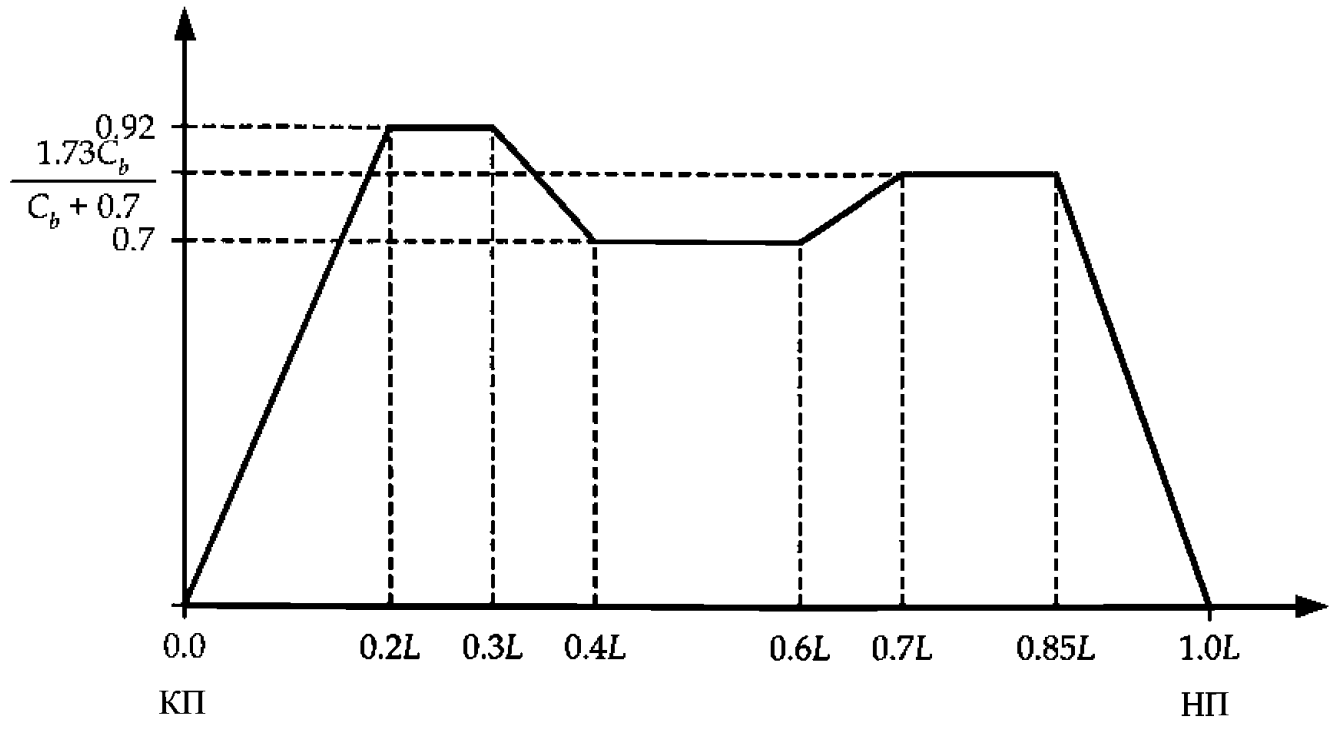


Рис. 7.3.4
Распределение отрицательной вертикальной волновой перерезывающей силы



3.5 Динамические местные нагрузки

3.5.1 Общие положения

3.5.1.1 Настоящий Раздел содержит предельные значения для динамического волнового давления, динамического давления в цистерне, нагрузки при заливании палубы и динамических нагрузок на палубные конструкции.

3.5.1.2 Предельные значения динамического волнового давления приведены в *3.5.2*.

3.5.1.3 Предельные значения нагрузки при заливании палубы, указанные в *3.5.3*, применимы только к требованиям к размерам связей корпуса и оценке прочности. Нагрузка при заливании палубы для оценки усталостной прочности должна приниматься равной нулю.

3.5.1.4 Предельные значения динамического давления в цистерне являются сочетанием инерционных составляющих вследствие вертикального, поперечного и продольного ускорений. Предельные значения составляющих динамического давления в цистерне указаны в *3.5.4*.

3.5.1.5 Предельные значения динамических нагрузок на палубные конструкции указаны в *3.5.5* и *3.5.6*.

3.5.2 Динамическое волновое давление

3.5.2.1 Предельное значение динамического волнового давления, $P_{ex\text{-}dyn}$, должно приниматься как наибольшее из:

$$P_1 = 2f_{prob}f_{n1-P1}\left[\left(P_{11} + \frac{135B_{local}}{4\,(B+75)} - 1{,}2\,(T_{LC} - z)\right)f_1 + \frac{135B_{local}}{4\,(B+75)}f_2\right] \quad \text{кН/м}^2;$$

$$P_2 = 26f_{prob}f_{n1-P2}\left[\begin{array}{l}\left(\dfrac{B_{local}}{8}\theta + f_T C_b \dfrac{0{,}25B_{local} + 0{,}8C_{wv}}{14}\left(0{,}7 + \dfrac{2z}{T_{LC}}\right)\right)f_1 \\ \left(\dfrac{B_{local}}{8}\theta + f_T C_b \dfrac{0{,}25B_{local}}{14}\left(0{,}7 + \dfrac{2z}{T_{LC}}\right)\right)f_2\end{array}\right] \quad \text{кН/м}^2,$$

где B_{local} местная ширина при ватерлинии для рассматриваемой осадки, м, но не менее $0{,}5B$;

θ угловая амплитуда бортовой качки, рад., как указано в *3.2.2.2;*

$P_{11} = (3f_s + 0{,}8)C_{wv}$;

C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *3.4.1.1;*

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*

T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;

T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*

C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1;*

$$f_1 = f_{lng} - \frac{f_{lng}}{f_V}f_2 + f_2;$$

$$f_2 = 0{,}25f_V\left(\frac{4|y|}{B_{local}} - 1\right) \quad \text{при } |y| < 0{,}25B_{local};$$

$$= f_V\left(\frac{4|y|}{B_{local}} - 1\right) \quad \text{при } |y| \geq 0{,}25B_{local};$$

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{sc}};$$

$$f_s = C_b + \frac{1{,}33}{\sqrt{C_b}} \quad \text{на кормовом перпендикуляре и в корму от него;}$$

$$= C_b \quad \text{на длине } 0{,}2L - 0{,}7L \text{ от кормового перпендикуляра;}$$

$= C_b + \dfrac{1{,}33}{C_b}$ на носовом перпендикуляре и в нос от него;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;

f_{lng} = 1,0 на кормовом перпендикуляре и в корму от него;

= 0,7 на длине $0{,}2L - 0{,}7L$ от кормового перпендикуляра;

= 1,0 на носовом перпендикуляре и в нос от него;

промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;

y поперечная координата, м;

z вертикальная координата, м;

$f_{nl\text{-}P1}$, $f_{nl\text{-}P2}$, f_{prob} и f_V указаны в *3.5.2.2* для использования в требованиях к размерам связей корпуса и оценки прочности, и в *3.5.2.3* – для оценки усталостной прочности.

3.5.2.2 Для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности предельное значение максимального динамического волнового давления, $P_{ex\text{-}max}$, см. *рис. 7.3.5*, и минимальное динамическое волновое давление, $P_{ex\text{-}min}$, см. *рис. 7.3.6*, должны приниматься как:

$P_{ex\text{-}max} = P_{ex\text{-}dyn}$ кН/м² ниже ватерлинии на тихой воде;

$= P_{WL} - 10(z - T_{LC})$ кН/м² для $T_{LC} < z \le T_{LC} + \dfrac{P_{WL}}{10}$;

$= 0$ кН/м² для $z > T_{LC} + \dfrac{P_{WL}}{10}$;

$P_{ex\text{-}min} = -P_{ex\text{-}dyn}$ кН/м² ниже ватерлинии на тихой воде;

$= 0$ кН/м² выше ватерлинии на тихой воде;

Рис. 7.3.5
Поперечное распределение максимального динамического волнового давления для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности

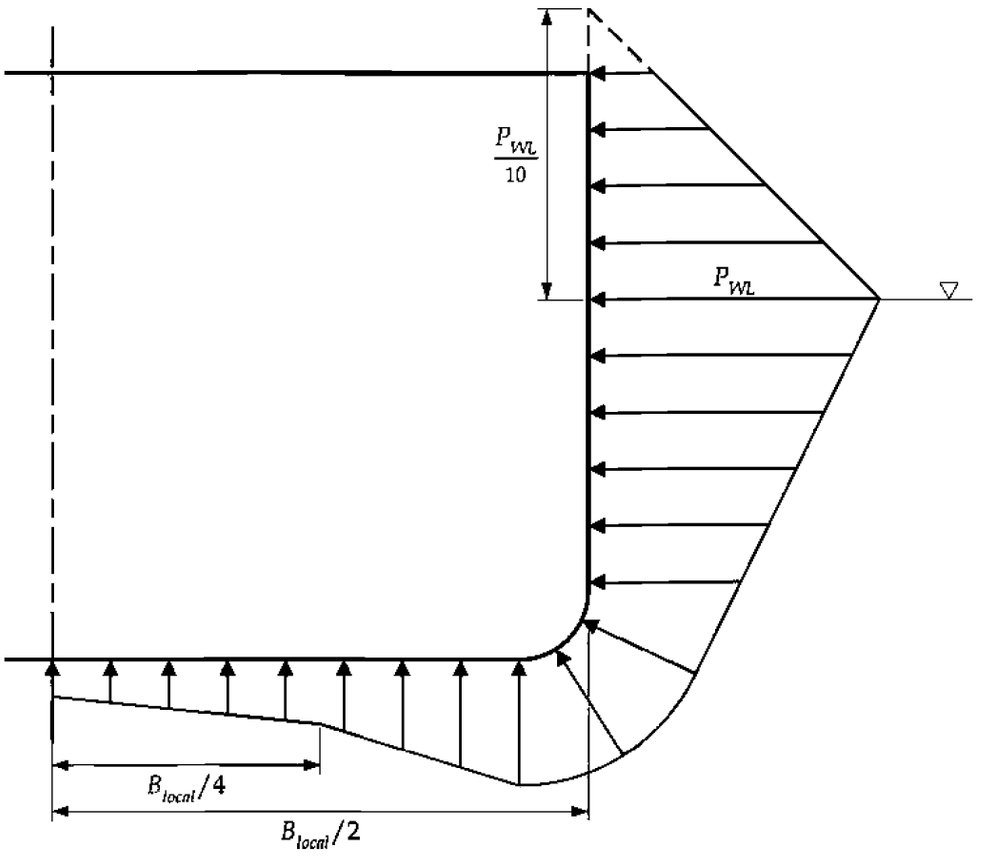
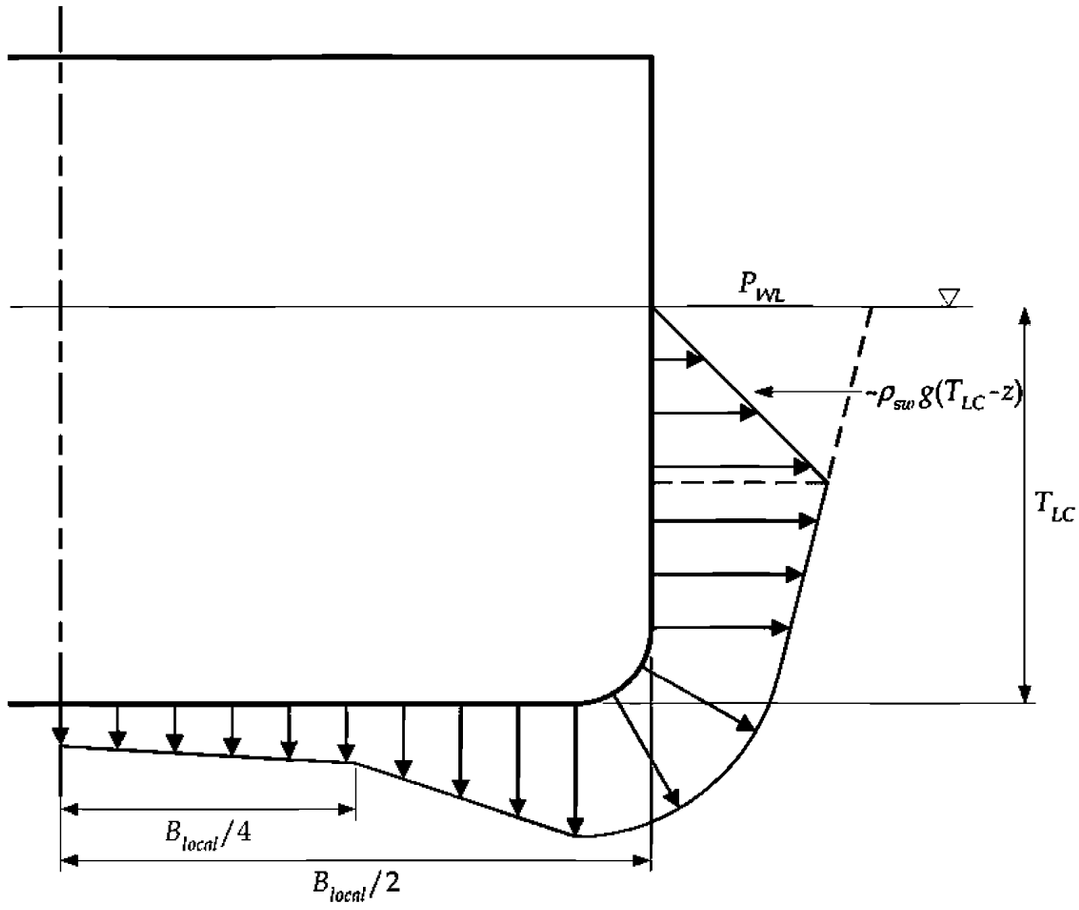


Рис. 7.3.6
Поперечное распределение минимального динамического волнового давления для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности



$P_{ex\text{-}min}$ не должно приниматься менее $-\rho_{sw} g (T_{LC} - z)$,

где $P_{ex\text{-}dyn}$ предельное значение динамического волнового давления в кН/м², как указано в *3.5.2.1,* при:
$f_{prob} = 1{,}0$;
$f_{nl\text{-}P1} = 0{,}9$;
$f_{nl\text{-}P2} = 0{,}65$;
$f_V = 1{,}0$;
P_{WL} давление на уровне ватерлинии, должно приниматься как $P_{ex\text{-}dyn}$ для ватерлинии на тихой воде, кН/м²;
T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;
ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м³;
z вертикальная координата, м.

3.5.2.3 Псевдоамплитуда (половина диапазона) динамического волнового давления, $P_{ex\text{-}amp}$, для оценки усталостной прочности, см. *рис. 7.3.7*, должна приниматься равной:

$P_{ex\text{-}amp} = 0$ кН/м² для $z \geq T_{LC} + h_{WL}$ или D, в зависимости от того, что меньше;

$= 0{,}5P_{WL}$ кН/м² на уровне ватерлинии на тихой воде;

$= P_{ex\text{-}dyn}$ кН/м² для $z \leq T_{LC} - h_{WL}$ или 0, в зависимости от того, что больше;

промежуточные значения между ватерлинией на тихой воде и $z = T_{LC} - h_{WL}$ должны определяться линейной интерполяцией,

где h_{WL} высота динамического волнового давления на уровне ватерлинии на тихой воде должна приниматься равной: $= P_{WL}/10$ м;

P_{WL} давление на уровне ватерлинии, должно приниматься как $P_{ex\text{-}max}$ на уровне ватерлинии на тихой воде, кН/м^2;

$P_{ex\text{-}max}$ предельное значение максимального динамического волнового давления, должно приниматься как наибольшее из P_1 и P_2, кН/м^2;

T_{LC} осадка в рассматриваемом варианте нагрузки, м;

D высота борта, м, как указано в *разделе 4/1.1.4.1*;

P_1 как указано в *3.5.2*, кН/м^2 при:

$f_{prob} = 0{,}5$;

$f_{nl\text{-}P1} = 1{,}0$;

$f_V = \begin{cases} 1{,}0 \text{ в точке } 0{,}7L \text{ и в корму от нее;} \\ 1{,}5 \text{ на носовом перпендикуляре и в нос от него;} \end{cases}$

промежуточные значения f_V должны определяться линейной интерполяцией;

P_2 как указано в *3.5.2.1*, кН/м^2, при:

$f_{prob} = 0{,}5$;

$f_{nl\text{-}P2} = 1{,}0$;

$f_V = 1{,}0$;

z вертикальная координата, м.

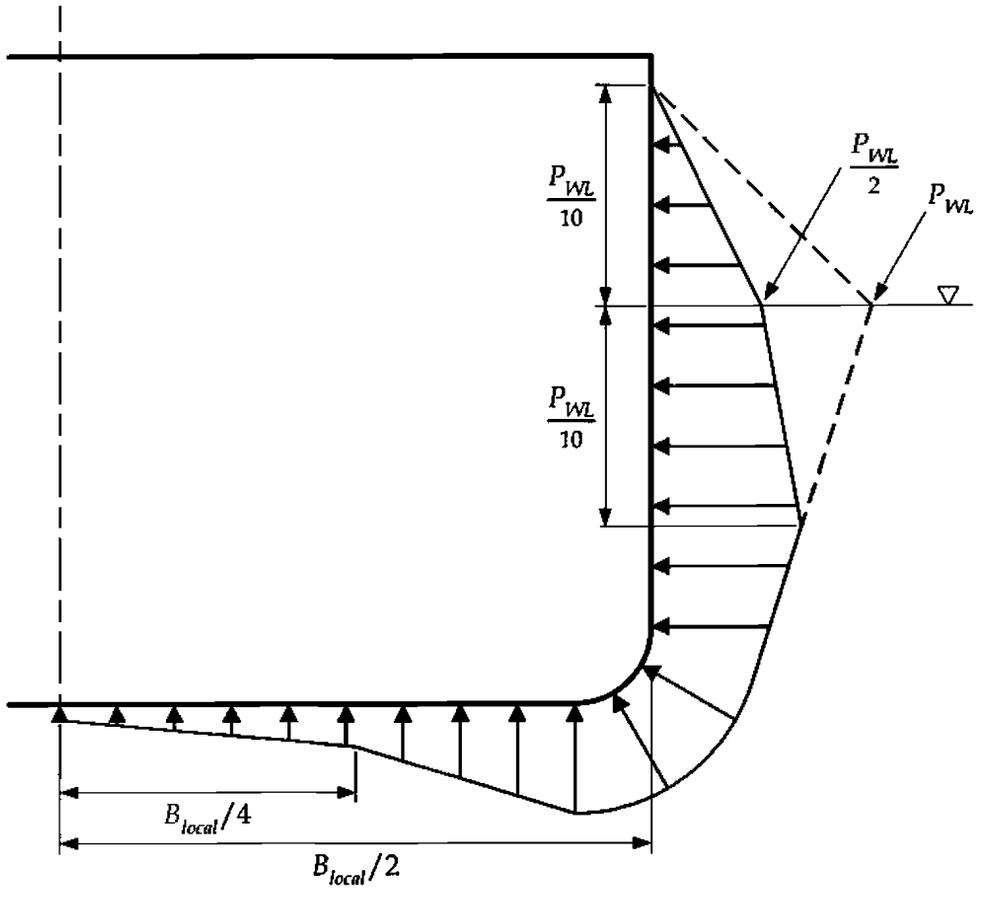
3.5.3 Нагрузка при заливании палубы

3.5.3.1 Предельное значение нагрузки при заливании палубы, действующей на открытую палубу, P_{wdk}, должно приниматься как наибольшее из:

$$P_{wdk} = f_{1\text{-}dk}(f_{op}\, P_{1\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T}) \quad \text{кН/м}^2;$$

$$P_{wdk} = 0{,}8\, f_{2\text{-}dk}(P_{2\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T}) \quad \text{кН/м}^2;$$

Рис. 7.3.7
Поперечное распределение амплитуды динамического волнового давления для оценки усталостной прочности



$P_{wdk} = 34{,}3$ кН/м²,

где $f_{1\text{-}dk} = 0{,}8 + L/750$;
$f_{2\text{-}dk} = 0{,}5 + |y|/B_{wdk}$;
f_{op} = 1,0 в точке $0{,}2L$ от кормового перпендикуляра и в нос от нее;
= 0,8 на кормовом перпендикуляре и в корму от него;
промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;
$P_{1\text{-}WL}$ давление P_1 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м², см. *3.5.2.1*;
$P_{2\text{-}WL}$ давление P_2 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м², см. *3.5.2.1*;
$z_{dk\text{-}T}$ расстояние от палубы до ватерлинии на тихой воде при рассматриваемой осадке для рассматриваемого варианта нагрузки, м;
B_{wdk} местная ширина на открытой палубе, м;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;
y поперечная координата точки приложения нагрузки, м.

3.5.4 Динамическое давление в цистерне

3.5.4.1 Предельное значение динамического давления в цистерне, $P_{in\text{-}v}$, вследствие вертикального ускорения цистерны должно приниматься равным:

$P_{in\text{-}v} = \rho a_v(z_0 - z)$ кН/м² для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности;

$P_{in\text{-}v} = \rho a_v|z_0 - z|$ кН/м² для оценки усталостной прочности,

где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м³, не должна быть менее:
0,9 для грузовых танков для оценки усталостной прочности;
1,025 в остальных случаях см. *раздел 2/3.1.8*;
a_v предельное значение вертикального ускорения, м/с², как указано в *3.3.3.1*, должно приниматься в центре тяжести цистерны;
z вертикальная координата точки приложения нагрузки, м;
z_0 вертикальная координата исходной точки, м, см. *6.3.7* в отношении требований к размерам связей корпуса и оценки прочности и *3.5.4.5* для оценки усталостной прочности.

3.5.4.2 Предельное значение динамического давления в цистерне, $P_{in\text{-}t}$, вследствие поперечного ускорения должно приниматься как:

$P_{in\text{-}t} = f_{ull\text{-}t}\,\rho a_t(y_0 - y)$ кН/м² для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности;

$P_{in\text{-}t} = \rho a_t|y_0 - y|$ кН/м² для оценки усталостной прочности,

где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м³, но не менее:
0,9 для грузовых танков для оценки усталостной прочности;
1,025 в остальных случаях см. *раздел 2/3.1.8*;
$f_{ull\text{-}t}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках, принимаемый равным:
0,67 для грузовых танков, включая предназначенные для заполнения водяным балластом;
1,0 для балластных и прочих цистерн;
a_t предельное значение поперечного ускорения, м/с², как указано в *3.3.4.1*, должно приниматься в центре тяжести цистерны;
y поперечная координата точки приложения нагрузки, м;
y_0 поперечная координата исходной точки, см. *6.3.7* для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности, и *3.5.4.5* для оценки усталостной прочности, м.

3.5.4.3 Предельное значение динамического давления в цистерне, $P_{in\text{-}lng}$, вследствие продольного ускорения должно приниматься равным:

$P_{in\text{-}lng} = f_{ull\text{-}lng}\,\rho a_{lng}(x_0 - x)$ кН/м² для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности;

$P_{in\text{-}lng} = \rho a_{lng}|x_0 - x|$ кН/м² для оценки усталостной прочности,

где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м³, не менее чем:
0,9 для грузовых танков для оценки усталостной прочности;
1,025 в остальных случаях, см. *раздел 2/3.1.8*;
$f_{ull\text{-}lng}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках, принимаемый равным:

0,62 для грузовых танков, включая предназначенные для заполнения водяным балластом;
1,0 для балластных и прочих цистерн;

a_{lng} предельное значение продольного ускорения , м/с^2, как указано в *3.3.5.1*, должно приниматься в центре тяжести цистерны;

x продольная координата точки приложения нагрузки, м;

x_0 продольная координата исходной точки, м, см. *6.3.7* для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности, и *3.5.4.5* для оценки усталостной прочности.

3.5.4.4 Для требований к прочным размерам связей и для оценки прочности одновременно действующее динамическое давление в танке $P_{in\text{-}dyn}$ должно приниматься как сумма составляющих для рассматриваемого случая динамической нагрузки, см. *6.3.7*.

3.5.4.5 Для оценки усталостной прочности амплитуда динамического давления в цистерне, $P_{in\text{-}amp}$, на границе цистерны при порожней смежной цистерне должна приниматься равной:

$$P_{in\text{-}amp} = f_v P_{in\text{-}v} + f_{ull\text{-}t} f_t P_{in\text{-}t} + f_{ull\text{-}lng} f_{lng} P_{in\text{-}lng} \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{in\text{-}v}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие вертикального ускорения, кН/м^2, как указано в *3.5.4.1*;

$P_{in\text{-}t}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие поперечного ускорения, кН/м^2, как указано в *3.5.4.2*;

$P_{in\text{-}lng}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие продольного ускорения, кН/м^2, как указано в *3.5.4.3*;

$f_{ull\text{-}t}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках, не должен приниматься менее 0,0 и более 1,0:

$= \dfrac{|z_0 - z| + h_{roll}}{2h_{roll}}$ для грузовых танков;

= 1,0 для балластных цистерн;

$f_{ull\text{-}lng}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках, не должен приниматься менее 0,0 и более 1,0:

$= \dfrac{|z_0 - z| + h_{pitch}}{2h_{pitch}}$ для грузовых танков;

= 1,0 для балластных цистерн;

h_{roll} высота подъема при бортовой качке = $\dfrac{b_{fs} f_{prob} \theta}{2}$;

h_{pitch} высота подъема при килевой качке = $\dfrac{l_{fs} f_{prob} \varphi}{2}$;

f_{prob} должно приниматься равным 0,5;

θ угловая амплитуда бортовой качки, рад., как указано в *3.2.2.2*;

φ угловая амплитуда килевой качки рад., как указано в *3.2.3.2;*

b_{fs} ширина цистерны в верхней ее части, см. *рис. 7.3.8*, м;

l_{fs} длина цистерны в верхней ее части, м;

x_0 продольная координата исходной точки, должна приниматься как середина длины цистерны в верхней ее части, м;

y_0 поперечная координата исходной точки, должна приниматься как середина ширины цистерны в верхней ее части, см. *рис. 7.3.8*, м;

z_0 вертикальная координата исходной точки, должна приниматься как самая высокая точка цистерны, исключая малые люки, см. рис. *7.3.8*, м;

f_v коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2;*

f_t коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2;*

f_{lng} коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2.*

3.5.4.6 Для оценки усталостной прочности амплитуда динамического давления в цистерне, $P_{in\text{-}amp}$, на продольной границе цистерны при заполненной смежной цистерне должна приниматься равной:

$$P_{in\text{-}amp} = f_v |P_{in\text{-}v\text{-}tk1} - P_{in\text{-}v\text{-}tk2}| + f_t |f_{ull\text{-}t\text{-}tk1} P_{in\text{-}t\text{-}tk1} + f_{ull\text{-}t\text{-}tk2} P_{in\text{-}t\text{-}tk2}| + f_{lng} |f_{ull\text{-}lng\text{-}tk1} P_{in\text{-}lng\text{-}tk1} - f_{ull\text{-}lng\text{-}tk2} P_{in\text{-}lng\text{-}tk2}| \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{in\text{-}v\text{-}tk1}$ динамическое давление в цистерне вследствие вертикального ускорения в цистерне 1, кН/м^2;

$P_{in\text{-}v\text{-}tk2}$ динамическое давление в цистерне вследствие вертикального ускорения в цистерне 2, кН/м^2;

$P_{in\text{-}t\text{-}tk1}$ динамическое давление в цистерне вследствие поперечного ускорения в цистерне 1, кН/м^2;

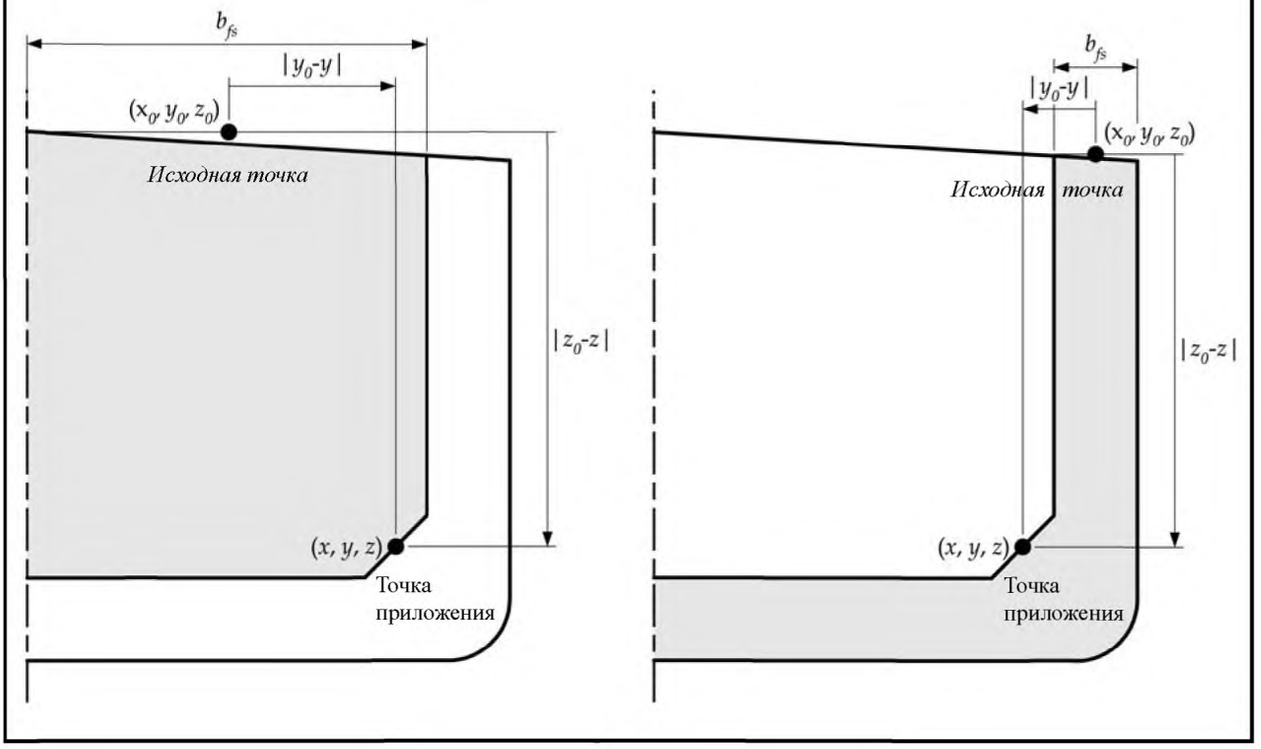
$P_{in\text{-}t\text{-}tk2}$ динамическое давление в цистерне вследствие поперечного ускорения в цистерне 2, кН/м²;
$P_{in\text{-}lng\text{-}tk1}$ динамическое давление в цистерне вследствие продольного ускорения в цистерне 1, кН/м²;
$P_{in\text{-}lng\text{-}tk2}$ динамическое давление в цистерне вследствие продольного ускорения в цистерне 2, кН/м²;
$f_{ull\text{-}t\text{-}tk1}$ коэффициент, учитывающий незаполненную часть объема цистерны 1, как указано в *3.5.4.5*;
$f_{ull\text{-}t\text{-}tk2}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части цистерны 2, как указано в *3.5.4.5*;
$f_{ull\text{-}lng\text{-}tk1}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части цистерны 1, как указано в *3.5.4.5*;
$f_{ull\text{-}lng\text{-}tk2}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части цистерны 2, как указано в *3.5.4.5*;
f_v коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2;*
f_t коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2;*
f_{lng} коэффициент сочетания давлений, как указано в *табл. 7.3.2*;
Цистерны 1 и 2 являются смежными цистернами с общей продольной границей.

Таблица 7.3.2

Коэффициенты сочетания давлений для оценки усталости

	Грузовые танки	**Балластные цистерны**
f_v	0,9	0,9
f_t	0,9	0,6
f_{lng}	0,4	0,4

Рис. 7.3.8
Нагрузка от динамического давления в цистерне и исходные точки для оценки усталостной прочности



3.5.4.7 Для оценки усталостной прочности, используя подход на основе напряжений в зонах концентрации напряжений (метод конечных элементов), амплитуды динамического давления в цистерне вследствие вертикальных, поперечных и продольных ускорений, см. *рис. 7.3.9*, должны приниматься равными:

$$P_{in\text{-}v} = \rho a_v (z_0 - z) \quad \text{кН/м}^2;$$

$$P_{in\text{-}t} = f_{ull\text{-}t} \rho a_t (y_0 - y) \quad \text{кН/м}^2;$$

$$P_{in\text{-}lng} = f_{ull\text{-}lng} \rho a_{lng} (x_0 - x) \quad \text{кН/м}^2,$$

Рис. 7.3.9(а)
Динамическое давление в цистерне вследствие вертикального ускорения для оценки усталостной прочности

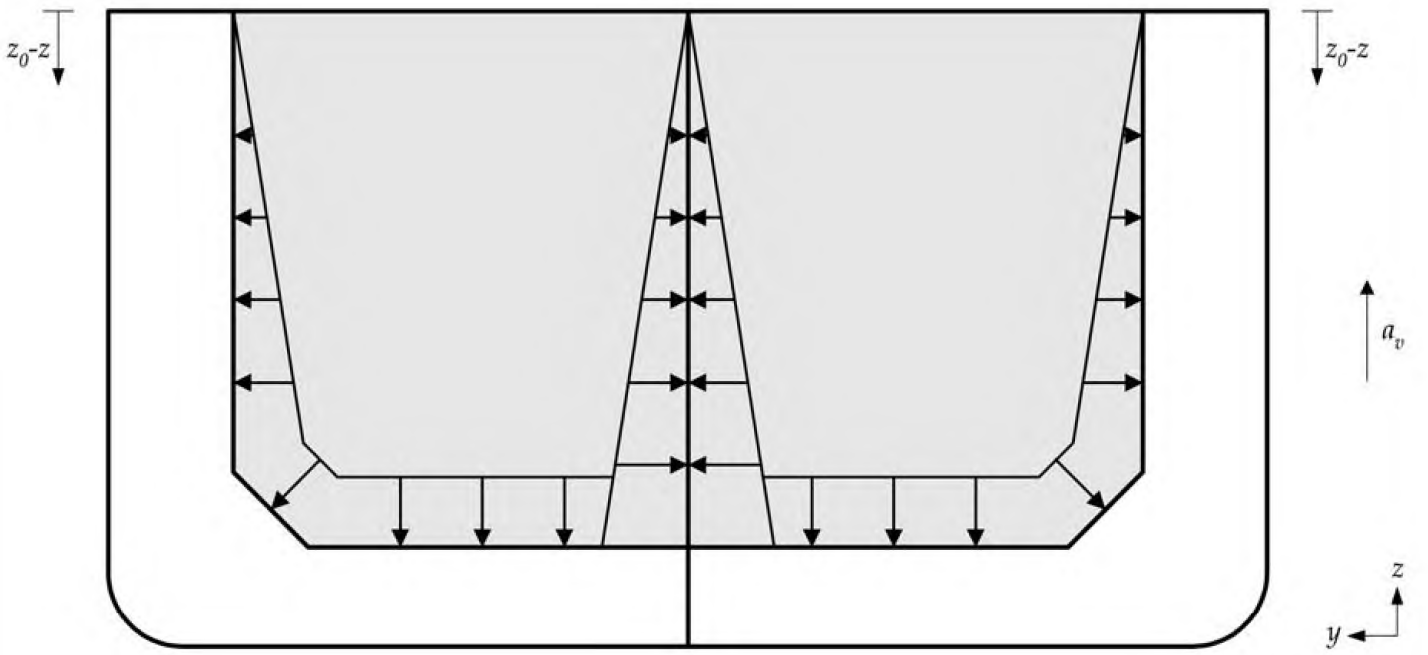


Рис. 7.3.9(б)
Динамическое давление в цистерне вследствие поперечного ускорения для оценки усталостной прочности

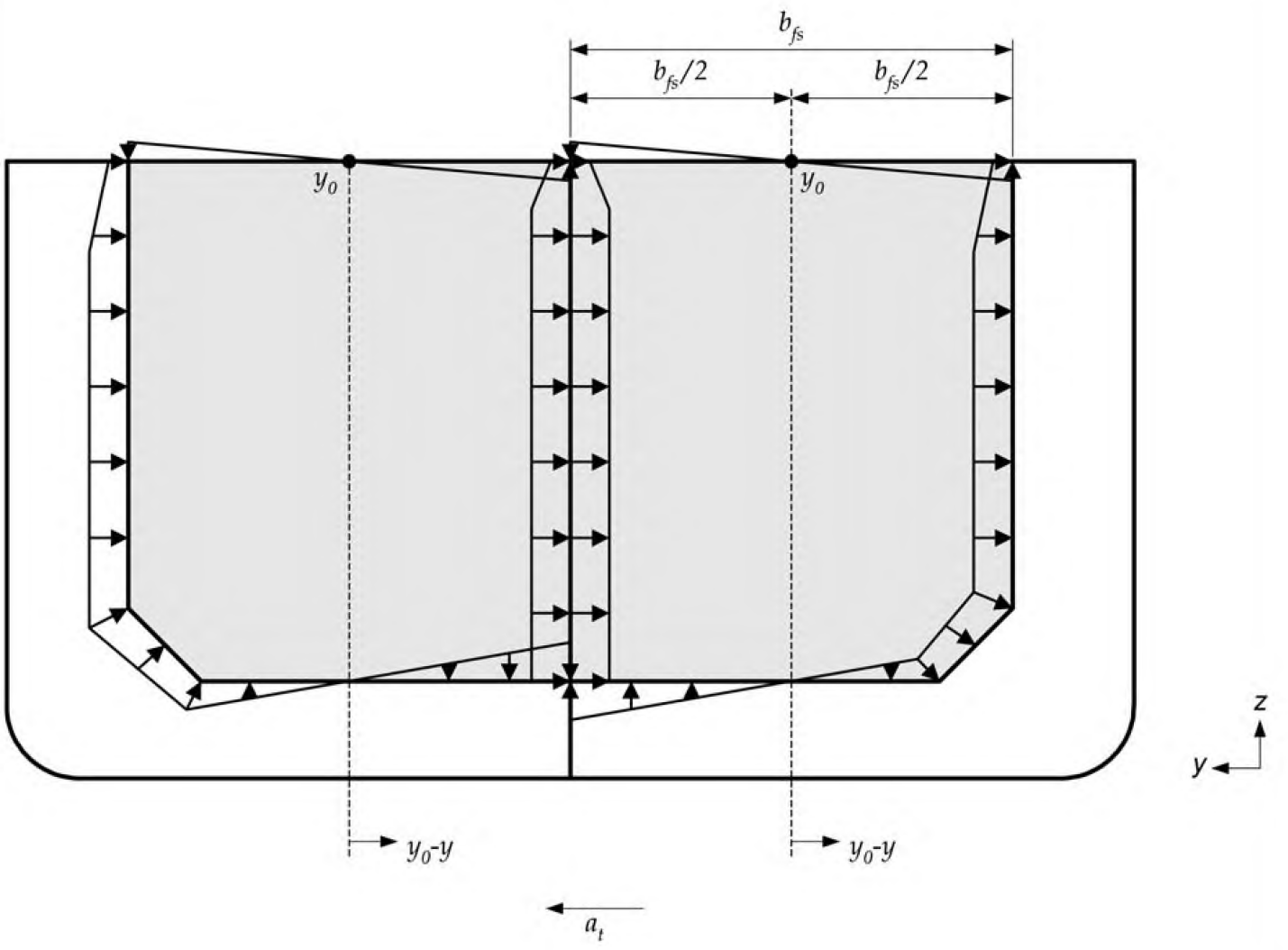
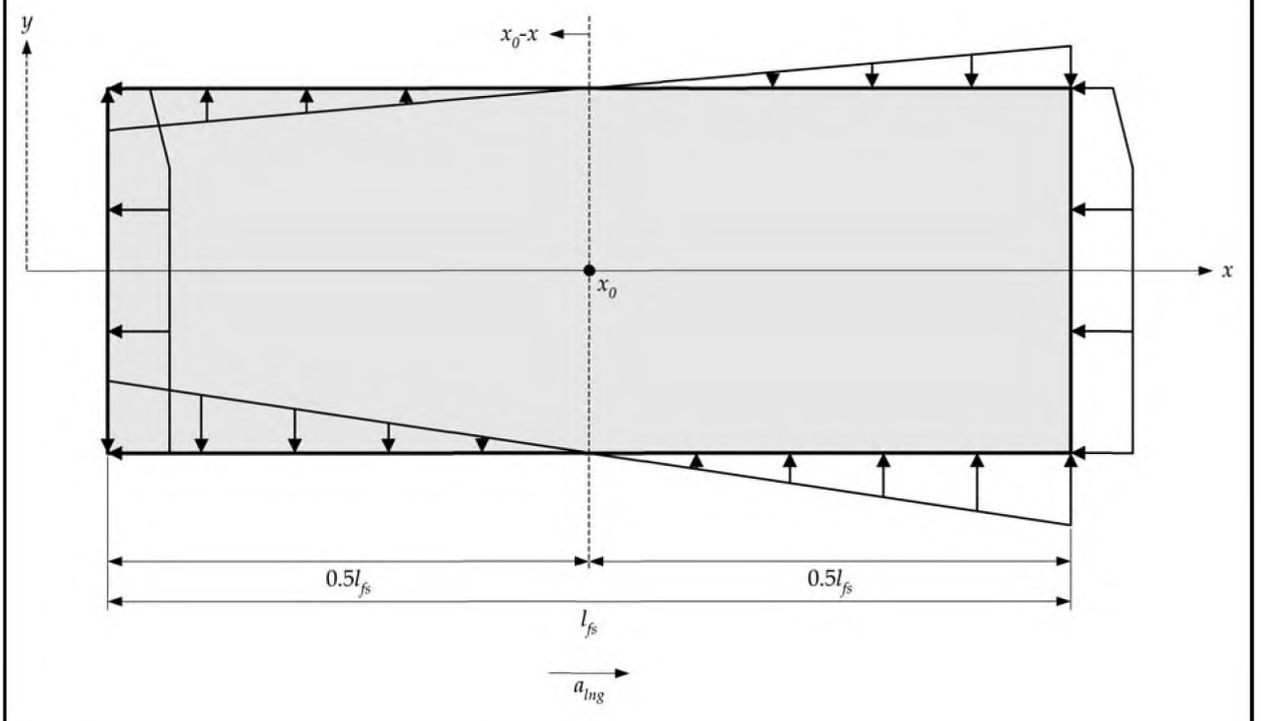


Рис. 7.3.9(в)
Динамическое давление в цистерне вследствие продольного ускорения для оценки усталостной прочности
Показано для грузового танка



где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м^3, но не менее:
0,9 для грузовых танков;
1,025 в остальных случаях, см. *раздел 2/3.1.8;*

$f_{ull\text{-}t}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках, как указано в *3.5.4.5;*

$f_{ull\text{-}lng}$ коэффициент, учитывающий высоту незаполненной части в грузовых танках согласно *3.5.4.5;*

x продольная координата точки приложения нагрузки, м;

y поперечная координата точки приложения нагрузки, м;

z вертикальная координата точки приложения нагрузки, м;

x_0 продольная координата исходной точки, должна приниматься посредине длины цистерны в верхней части цистерны, м;

y_0 поперечная координата исходной точки, должна приниматься посредине ширины цистерны в верхней части цистерны, м;

z_0 вертикальная координата исходной точки, должна приниматься как самая высокая точка цистерны, м;

a_v предельное значение вертикального ускорения в центре тяжести цистерны, м/с^2, как указано в *3.3.3.1;*

a_t предельное значение поперечного ускорения в центре тяжести цистерны, м/с^2, как указано в *3.3.4.1;*

a_{lng} предельное значение продольного ускорения в центре тяжести цистерны, м/с^2, как указано в *3.3.5.1.*

3.5.5 Динамическое давление на палубные конструкции от распределенной нагрузки

3.5.5.1 Предельное значение динамического давления на палубные конструкции, $P_{deck\text{-}dyn}$, для палуб, второго дна и люковых закрытий должно приниматься равным:

$$P_{deck\text{-}dyn} = P_{deck}\frac{a_v}{g} \text{ кН/м}^2,$$

где a_v предельное значение вертикального ускорения, м/с^2, как указано в *3.3.3.1;*

P_{deck} равномерно распределенное давление на нижние палубы и палубы в границах надстройки, кН/м^2, как указано в *2.2.4.1;*

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2.

3.5.6 Динамические нагрузки от тяжеловесных агрегатов

3.5.6.1 Предельные значения динамической нагрузки на палубные конструкции, F_v, F_t и F_{lng}, действующей в вертикальном, поперечном и продольном направлениях на опорные конструкции и системы креплений для тяжеловесных грузовых единиц, оборудование или конструктивные элементы, должны приниматься равными:

$F_v = m_{un}\, a_v$ кН;

$F_t = m_{un}\, a_t$ кН;

$F_{lng} = m_{un}\, a_{lng}$ кН,

где m_{un} масса грузовой единицы, т;

a_v предельное значение вертикального ускорения в центре тяжести рассматриваемой грузовой единицы, м/с^2, как указано в *3.3.3.1;*

a_t предельное значение поперечного ускорения в центре тяжести рассматриваемой грузовой единицы, м/с^2, как указано в *3.3.4.1;*

a_{lng} предельное значение продольного ускорения в центре тяжести рассматриваемой грузовой единицы, м/с^2, как указано в *3.3.5.1.*

4 Нагрузки от ударов жидкости о стенки цистерны и ударные нагрузки

4.1 Общие положения

4.1.1 Составляющие нагрузки

4.1.1.1 В настоящем Подразделе приводятся давление от ударов жидкости о стенки цистерны, а также динамическое давление при ударах о воду носа судна и динамическое давление от воздействия волн при ударах о воду днища судна.

4.2 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны

4.2.1 Область применения и ограничения

4.2.1.1 Давления от ударов жидкости о стенки цистерны, приведенные в *4.2.2 – 4.2.4*, являются давлениями, вызванными свободным движением жидкости в цистерне в результате качки судна.

4.2.1.2 Данные давления не включают влияние динамического давления вследствие высокой скорости ударов о стенки цистерны или внутренние конструкции. Для цистерн, имеющих расчетную ширину зоны удара, b_{slh}, более $0{,}56B$ или расчетную длину зоны удара, l_{slh}, более $0{,}13L$, должна выполняться дополнительная оценка ударного воздействия в соответствии с методикой конкретного классификационного общества.

4.2.2 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны вследствие продольного перемещения жидкости

4.2.2.1 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны в районе поперечных непроницаемых и отбойных переборок вследствие продольного перемещения жидкости, $P_{slh\text{-}lng}$, для конкретной высоты заполнения цистерны должно приниматься равным:

$$P_{slh\text{-}lng} = \rho g l_{slh} f_{slh} \left[0{,}4 - \left(0{,}39 - \frac{1{,}7 l_{slh}}{L} \right) \frac{L}{350} \right] \text{ кН/м}^2,$$

где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м^3, не должна приниматься менее чем 1,025;

l_{slh} расчетная длина зоны удара при рассматриваемой высоте заполнения цистерны, м, как указано в *4.2.2.3* и *4.2.2.4* для поперечных непроницаемых переборок и поперечных отбойных переборок соответственно;

$$f_{slh} = 1 - 2\left(0{,}7 - \frac{h_{fill}}{h_{\max}}\right)^2;$$

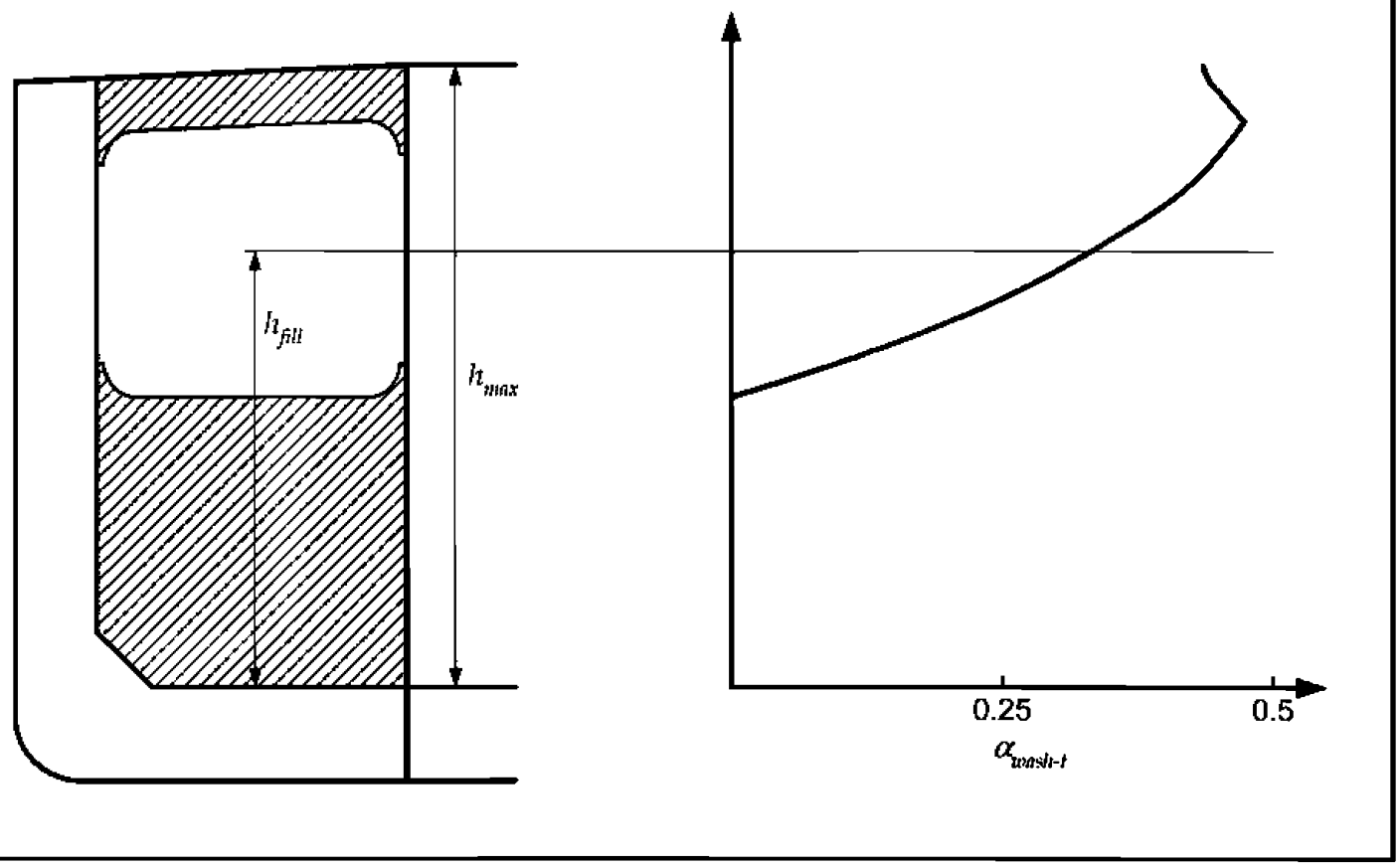
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

h_{fill} высота заполнения, измеренная от второго дна, м, см. *рис. 7.4.1*;

h_{max} максимальная высота цистерны, исключая малые люки, измеренная от второго дна, м, см. *рис. 7.4.1*;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2.

Рис. 7.4.1
Коэффициент проницаемости поперечной отбойной переборки



4.2.2.2 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны вследствие продольного перемещения жидкости, $P_{slh\text{-}lng}$, должно приниматься как постоянное значение по всей высоте цистерны и как наибольшее значение давлений от ударов жидкости о стенки цистерны, рассчитанных для высот заполнения от 0,70 h_{max} до 0,95h_{max} с шагом 0,05h_{max}.

Рекомендации:

Для цистерн с рамными шпангоутами стандартной конструкции, например, с вертикальными рамами продольной переборки с нижними кницами, наибольшее давление от ударов жидкости о стенки цистерны получится при высоте заполнения 0,7h_{max}. Для цистерн с небольшими отбойными переборками обычно требуются инкрементные расчеты. При этом расчетная длина зоны ударов будет увеличиваться с увеличением высоты заполнения цистерны, и максимальное давление может получиться при высоте заполнения свыше 0,7h_{max}.

4.2.2.3 При расчете давлений от ударов жидкости о стенки цистерны в районе поперечных непроницаемых переборок расчетная длина зоны ударов, l_{slh}, должна приниматься равной:

$$l_{slh} = \frac{(1 + n_{wash\text{-}t}\alpha_{wash\text{-}t})(1 + f_{wf}\alpha_{wf})\, l_{tk\text{-}h}}{(1 + n_{wash\text{-}t})\,(1 + f_{wf})} \text{ м},$$

где $n_{wash\text{-}t}$ количество поперечных отбойных переборок в цистерне;

$\alpha_{wash\text{-}t}$ коэффициент проницаемости поперечной отбойной переборки;

$= \dfrac{A_{opn\text{-}wash\text{-}t}}{A_{tk\text{-}t\text{-}h}}$;

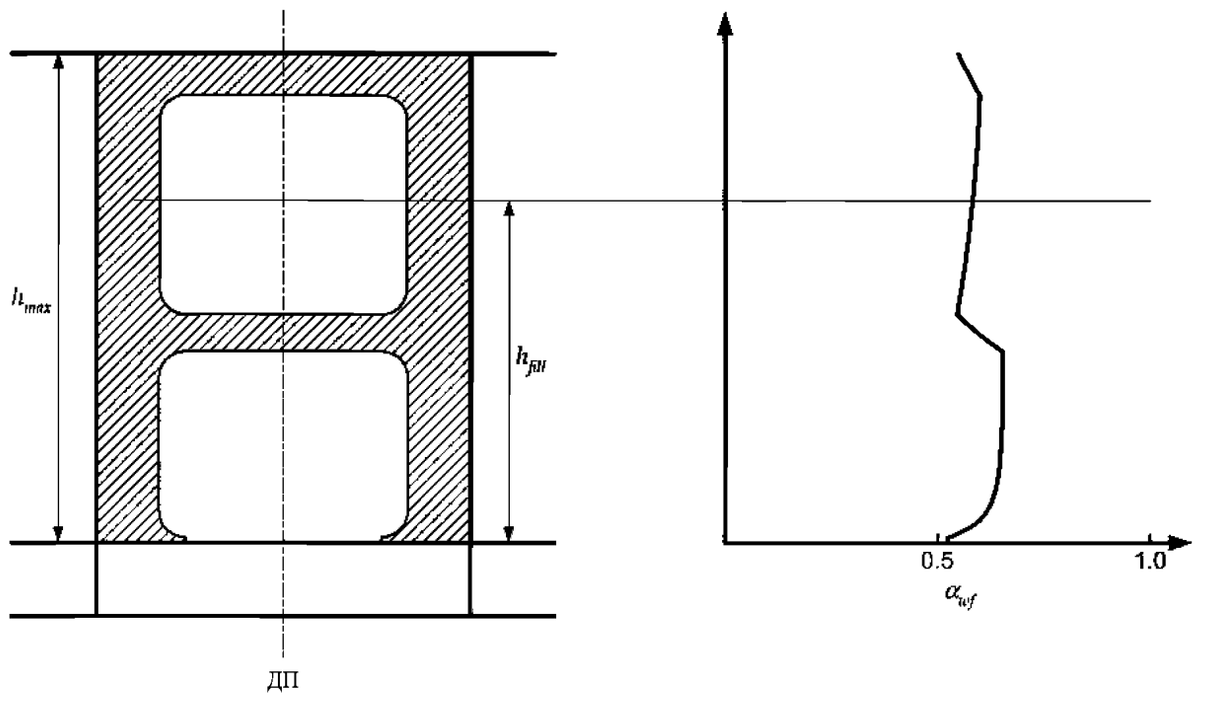
см. *рис. 7.4.1;*

α_{wf} коэффициент проницаемости поперечного рамного шпангоута;

$= \dfrac{A_{opn\text{-}wf\text{-}h}}{A_{tk\text{-}t\text{-}h}}$;

см. *рис. 7.4.2;*

Рис. 7.4.2
Коэффициент проницаемости поперечного рамного шпангоута



для цистерн с изменяющейся по длине формой и/или с рамными шпангоутами различной формы коэффициент проницаемости поперечного рамного шпангоута, α_{wf}, может быть принят как взвешенное среднее значение по всем местам установки рамных шпангоутов в цистерне согласно формуле:

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{A_{opn\text{-}wf\text{-}h\text{-}i}}{A_{tk\text{-}t\text{-}h\text{-}i}}}{n_{wf}};$$

$A_{opn\text{-}wash\text{-}t}$ общая площадь отверстий в поперечном сечении в районе отбойной переборки ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{tk\text{-}t\text{-}h}$ общая площадь поперечного сечения цистерны ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{opn\text{-}wf\text{-}h}$ общая площадь отверстий в поперечном сечении в районе рамного шпангоута ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

f_{wf} коэффициент, учитывающий количество поперечных рамных шпангоутов и поперечных обойных переборок в цистерне:

$= n_{wf}/(1+n_{wash\text{-}t})$;

n_{wf} количество поперечных рамных шпангоутов в цистерне, исключая отбойные переборки;

$l_{tk\text{-}h}$ длина грузового танка по рассматриваемой высоте заполнения, м.

4.2.2.4 При расчете давлений от ударов жидкости о стенки цистерны в районе поперечных отбойных переборок расчетная длина зоны ударов, l_{slh}, должна приниматься равной:

$$l_{slh} = \frac{[1 + (n_{wash-t} - 1)\,\alpha_{wash-t}](1 + f_{wf}\alpha_{wf})\,l_{tk-h}}{(1 + n_{wash-t})\,(1 + f_{wf})} \text{ м},$$

где n_{wash-t} количество поперечных отбойных переборок в цистерне;

a_{wash-t} коэффициент проницаемости поперечной отбойной переборки

$$= \frac{A_{opn-wash-t}}{A_{tk-t-h}};$$

см. *рис. 7.4.1;*

a_{wf} коэффициент проницаемости поперечного рамного шпангоута

$$= \frac{A_{opn-wf-h}}{A_{tk-t-h}};$$

см. *рис. 7.4.2;*

для цистерн с изменяющейся по длине формой и/или с рамными шпангоутами различной формы коэффициент проницаемости поперечного рамного шпангоута, α_{wf}, может быть принят как взвешенное среднее значение по всем местам установки рамных шпангоутов в цистерне согласно формуле:

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{A_{opn-wf-h-i}}{A_{tk-t-h-i}}}{n_{wf}};$$

$A_{opn-wash-t}$ общая площадь отверстий в поперечном сечении в районе отбойной переборки ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

A_{tk-t-h} общая площадь поперечного сечения цистерны ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{opn-wf-h}$ общая площадь отверстий в поперечном сечении в районе рамного шпангоута ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

f_{wf} коэффициент, учитывающий количество поперечных рамных шпангоутов и поперечных отбойных переборок в цистерне:

$= n_{wf}/(1+ n_{wash-t})$;

n_{wf} количество поперечных рамных шпангоутов в цистерне, исключая отбойные переборки;

l_{tk-h} длина грузового танка по рассматриваемой высоте заполнения, м.

4.2.2.5 Для цистерны с внутренними рамными шпангоутами давление от ударов жидкости, P_{slh-wf}, действующее на рамный шпангоут, смежный с поперечной непроницаемой или отбойной переборкой, если она находится в пределах $0{,}25 l_{slh}$ от переборки, должно приниматься равным:

$$P_{slh-wf} = P_{slh-lng}\left(1 - \frac{s_{wf}}{l_{slh}}\right)^2 \text{ кН/м}^2,$$

где $P_{slh-lng}$ давление от ударов жидкости, действующее на переборку, вследствие продольного перемещения жидкости, как указано в *4.2.2.1;*

s_{wf} расстояние от переборки до рассматриваемого рамного шпангоута, м;

l_{slh} расчетная длина зоны ударов при рассматриваемой высоте заполнения, м, как указано в *4.2.2.3* и *4.2.2.4* для поперечной непроницаемой и отбойной переборок соответственно.

Распределение давления на рамном шпангоуте показано на *рис. 7.4.3*.

4.2.2.6 Для цистерн с внутренними стрингерами переборок и/или рамными шпангоутами распределение давления от ударов жидкости, P_{slh}, по этим элементам показано на *рис. 7.4.3*.

4.2.3 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны вследствие поперечного перемещения жидкости

4.2.3.1 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны в районе продольных непроницаемых и отбойных переборок вследствие поперечного перемещения жидкости, P_{slh-t}, для конкретной высоты заполнения цистерны должно приниматься равным:

$$P_{slh-t} = 7\rho g f_{slh}\left(\frac{b_{slh}}{B} - 0{,}3\right) GM^{0{,}75} \text{ кН/м}^2,$$

где ρ плотность жидкости в цистерне, т/м^3, но не менее 1,025;

b_{slh} расчетная ширина зоны удара, м, см. *4.2.3.3* и *4.2.3.4* для продольных непроницаемых переборок и продольных отбойных переборок соответственно; не должна приниматься менее $0{,}3B$;

GM метацентрическая высота, должна приниматься $0{,}33B$ при расчете рассматриваемого давления в балластных цистернах и $0{,}24B$ в грузовых танках;

$$f_{slh} = 1 - 2\left(0{,}7 - \frac{h_{fill}}{h_{\max}}\right)^2;$$

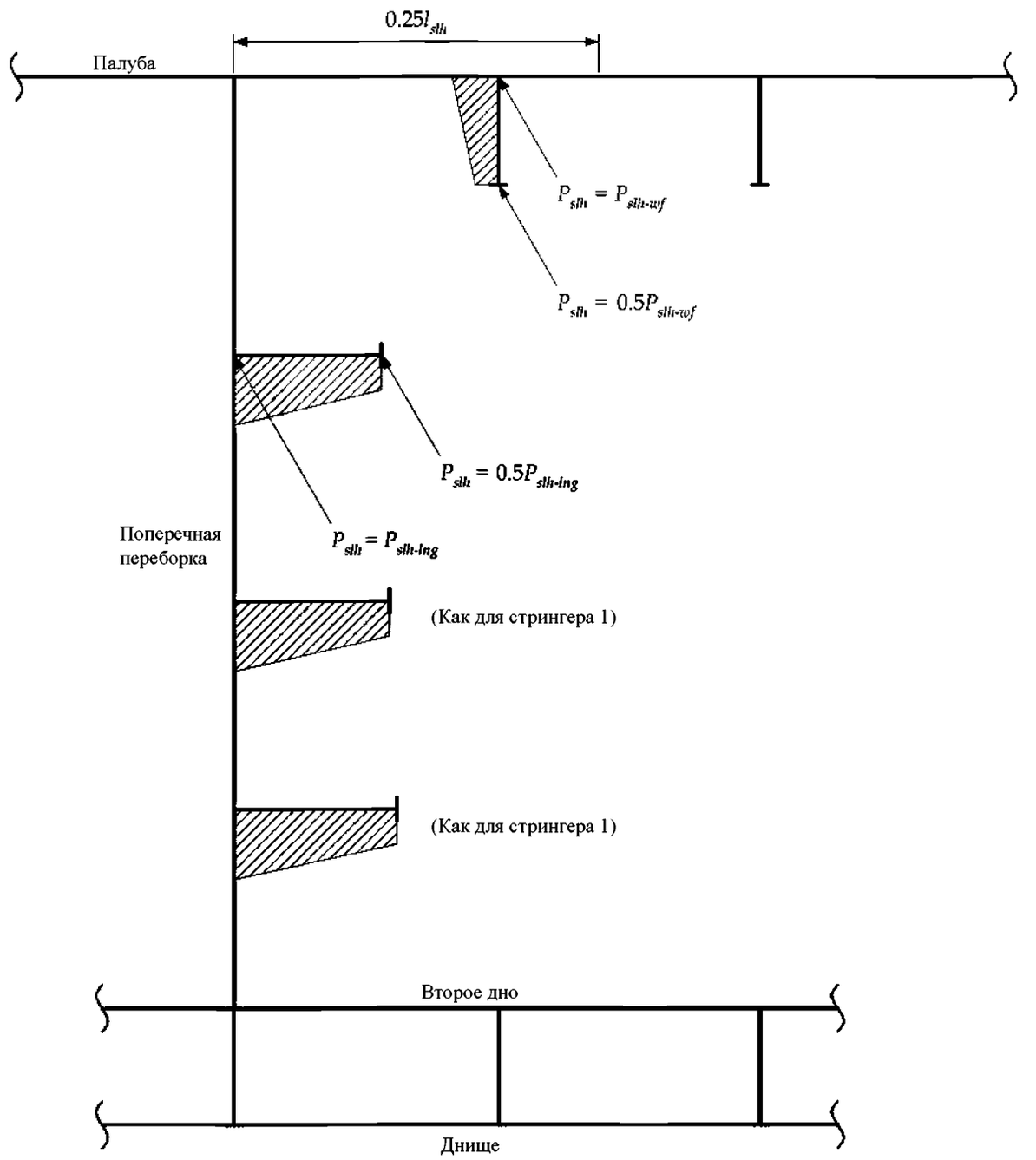
B ширина судна, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1*;

h_{fill} высота заполнения, измеренная от второго дна, м, см. *рис. 7.4.1*;

h_{max} максимальная высота цистерны, исключая малые люки, измеренная от второго дна, м, см. *рис. 7.4.1*;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с^2.

Рис. 7.4.3
Распределение давления от ударов жидкости по стрингерам и рамным шпангоутам



4.2.3.2 Давление от ударов жидкости о стенки цистерны вследствие поперечного перемещения жидкости, $P_{slh\text{-}t}$, должно приниматься как постоянное значение по всей высоте цистерны и как наибольшее значение давлений от ударов жидкости о стенки цистерны, рассчитанных для высот заполнения от $0{,}70\ h_{max}$ до $0{,}95 h_{max}$ с шагом $0{,}05 h_{max}$.

Рекомендации:

Для цистерн с рамными шпангоутами стандартной конструкции, например, с вертикальными рамами продольной переборки с нижними кницами, наибольшее давление от ударов жидкости о стенки цистерны получится при высоте заполнения $0{,}7 h_{max}$. Для цистерн с небольшими отбойными переборками обычно требуются инкрементные расчеты. При этом расчетная длина зоны ударов будет увеличиваться с увеличением высоты заполнения цистерны, и максимальное давление может получиться при высоте заполнения свыше $0{,}7 h_{max}$.

4.2.3.3 При расчете давлений от ударов жидкости о стенки цистерны в районе продольных непроницаемых переборок расчетная ширина зоны ударов, b_{slh}, должна приниматься равной:

$$b_{slh} = \frac{(1 + n_{wash\text{–}lng}\,\alpha_{wash\text{–}lng})(1 + f_{grd}\,\alpha_{grd})\,b_{tk\text{–}h}}{(1 + n_{wash\text{–}lng})(1 + f_{grd})} \quad \text{м},$$

где $n_{wash\text{-}lng}$ количество продольных отбойных переборок в цистерне;

$\alpha_{wash\text{-}lng}$ коэффициент проницаемости продольной отбойной переборки

$$= \frac{A_{opn\text{-}wash\text{-}lng}}{A_{tk\text{-}lng\text{-}h}};$$

α_{grd} коэффициент проницаемости балки

$$= \frac{A_{opn\text{-}grd\text{-}h}}{A_{tk\text{-}lng\text{-}h}};$$

$A_{opn\text{-}wash\text{-}lng}$ общая площадь отверстий в продольном сечении в районе отбойной переборки ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{tk\text{-}lng\text{-}h}$ общая площадь продольного сечения цистерны ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{opn\text{-}grd\text{-}h}$ общая площадь отверстий в продольном сечении в районе балки ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

f_{grd} коэффициент, учитывающий продольные балки и продольные отбойные переборки в цистерне:

$= n_{grd}/(1+ n_{wash\text{-}lng})$;

n_{grd} количество продольных балок в цистерне, исключая продольные отбойные переборки;

$b_{tk\text{-}h}$ ширина цистерны по рассматриваемой высоте заполнения, м.

4.2.3.4 При расчете давлений от ударов жидкости о стенки цистерны в районе продольных отбойных переборок расчетная ширина зоны ударов, b_{slh}, должна приниматься равной:

$$b_{slh} = \frac{[1 + (n_{wash\text{–}lng} - 1)\,\alpha_{wash\text{–}lng}](1 + f_{grd}\,\alpha_{grd})\,b_{tk\text{–}h}}{(1 + n_{wash\text{–}lng})(1 + f_{grd})} \quad \text{м},$$

где $n_{wash\text{-}lng}$ количество продольных отбойных переборок в цистерне;

$\alpha_{wash\text{-}lng}$ коэффициент проницаемости продольной отбойной переборки

$$= \frac{A_{opn\text{-}wash\text{-}lng}}{A_{tk\text{-}lng\text{-}h}};$$

α_{grd} коэффициент проницаемости балки

$$= \frac{A_{opn\text{-}grd\text{-}h}}{A_{tk\text{-}lng\text{-}h}};$$

$A_{opn\text{-}wash\text{-}lng}$ общая площадь отверстий в продольном сечении в районе отбойной переборки ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{tk\text{-}lng\text{-}h}$ общая площадь продольного сечения цистерны ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

$A_{opn\text{-}grd\text{-}h}$ общая площадь отверстий в продольном сечении ниже рассматриваемой высоты заполнения, м^2;

f_{grd} коэффициент, учитывающий продольные балки и продольные отбойные переборки в цистерне:

$= n_{grd}/(1+ n_{wash\text{-}lng})$;

n_{grd} количество продольных балок в цистерне, исключая продольные отбойные переборки;

$b_{tk\text{-}h}$ ширина цистерны по рассматриваемой высоте заполнения, м.

4.2.3.5 Для цистерн с внутренними продольными балками или рамными шпангоутами давление от ударов жидкости, действующее на балку/рамный шпаногут, смежный с продольной отбойной переборкой, $P_{slh\text{-}grd}$, если она находится в пределах $0{,}25 b_{slh}$ от переборки, должно приниматься равным:

$$P_{slh\text{-}grd} = P_{slh\text{-}t}\left(1 - \frac{s_{grd}}{b_{slh}}\right)^2 \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{slh\text{-}t}$ давление от ударов жидкости, действующее на переборку, вследствие поперечного перемещения жидкости, кН/м², см. *4.2.3.1;*

s_{grd} расстояние от продольной переборки до рассматриваемой продольной балки, м;

b_{slh} расчетная ширина зоны ударов, м, см. *4.2.3.3* и *4.2.3.4* для продольных непроницаемых и отбойных переборок соответственно.

4.2.3.6 Для цистерн с внутренними продольными стрингерами и/или балками/рамными шпангоутами распределение давления от ударов жидкости по этим элементам показано на *рис. 7.4.4*.

4.2.4 Минимальное давление от ударов жидкости о стенки цистерны

4.2.4.1 Минимальное давление от ударов жидкости о стенки, $P_{slh\text{-}min}$, в грузовых танках и балластных цистернах, исключая цистерны ячеистой конструкции, должно приниматься равным 20 кН/м².

4.2.4.2 Минимальное давление от ударов жидкости о стенки цистерны, $P_{slh\text{-}min}$, в балластных цистернах ячеистой конструкции должно приниматься равным 12 кН/м².

4.3 Ударные нагрузки от воздействия волн при ударах о воду днища судна

4.3.1 Область применения и ограничения

4.3.1.1 Ударные нагрузки от воздействия волн, указанные в настоящем Разделе, применимы к судам с $C_b \geq 0{,}7$ и осадкой при ударных нагрузках от воздействия волн $\geq 0{,}02L$ и $\leq 0{,}045L$.

4.3.2 Динамическое давление от воздействия волн

4.3.2.1 Динамическое давление от воздействия волн, P_{slm}, должно приниматься как наибольшее значение из:

$P_{slm\text{-}mt} = f_{slm} 130 g c_{slm\text{-}mt} e^{c1}$ кН/м² для порожних балластных цистерн;

$P_{slm\text{-}full} = f_{slm} 130 g c_{slm\text{-}full} e^{c1} - c_{av} \rho g z_{ball}$ кН/м² для заполненных балластных цистерн,

где g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с²;

f_{slm} коэффициент продольного распределения ударной нагрузки от воздействия волн (см. *рис. 7.4.5*), должен приниматься равным:
0 в точке $0{,}5L$;
1 в точке $[0{,}175 - 0{,}5(C_{bl} - 0{,}7)]L$ от носового перпендикуляра;
1 в точке $[0{,}1 - 0{,}5(C_{bl} - 0{,}7)]L$ от носового перпендикуляра;
0,5 на носовом перпендикуляре и в нос от него;
промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;

C_{bl} коэффициент общей полноты C_b, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*, но не менее 0,7 или более 0,8;

$c_{slm\text{-}mt}$ коэффициент ударной нагрузки от воздействия волн для порожних балластных цистерн

$$= 5{,}95 - 10{,}5\left(\frac{T_{FP\text{-}mt}}{L}\right)^{0{,}2};$$

$c_{slm\text{-}full}$ коэффициент ударной нагрузки от воздействия волн для заполненных балластных цистерн

$$= 5{,}95 - 10{,}5\left(\frac{T_{FP\text{-}full}}{L}\right)^{0{,}2};$$

c_1 должен приниматься равным:
0 при $L \leq 180$ м;
$= -0{,}0125(L - 180)^{0{,}705}$ при $L > 180$ м;

$T_{FP\text{-}mt}$ расчетная балластная осадка на носовом перпендикуляре при ударной нагрузке от воздействия волн при порожних балластных цистернах в районе ударной нагрузки, как указано в *4.3.2.2*, м;

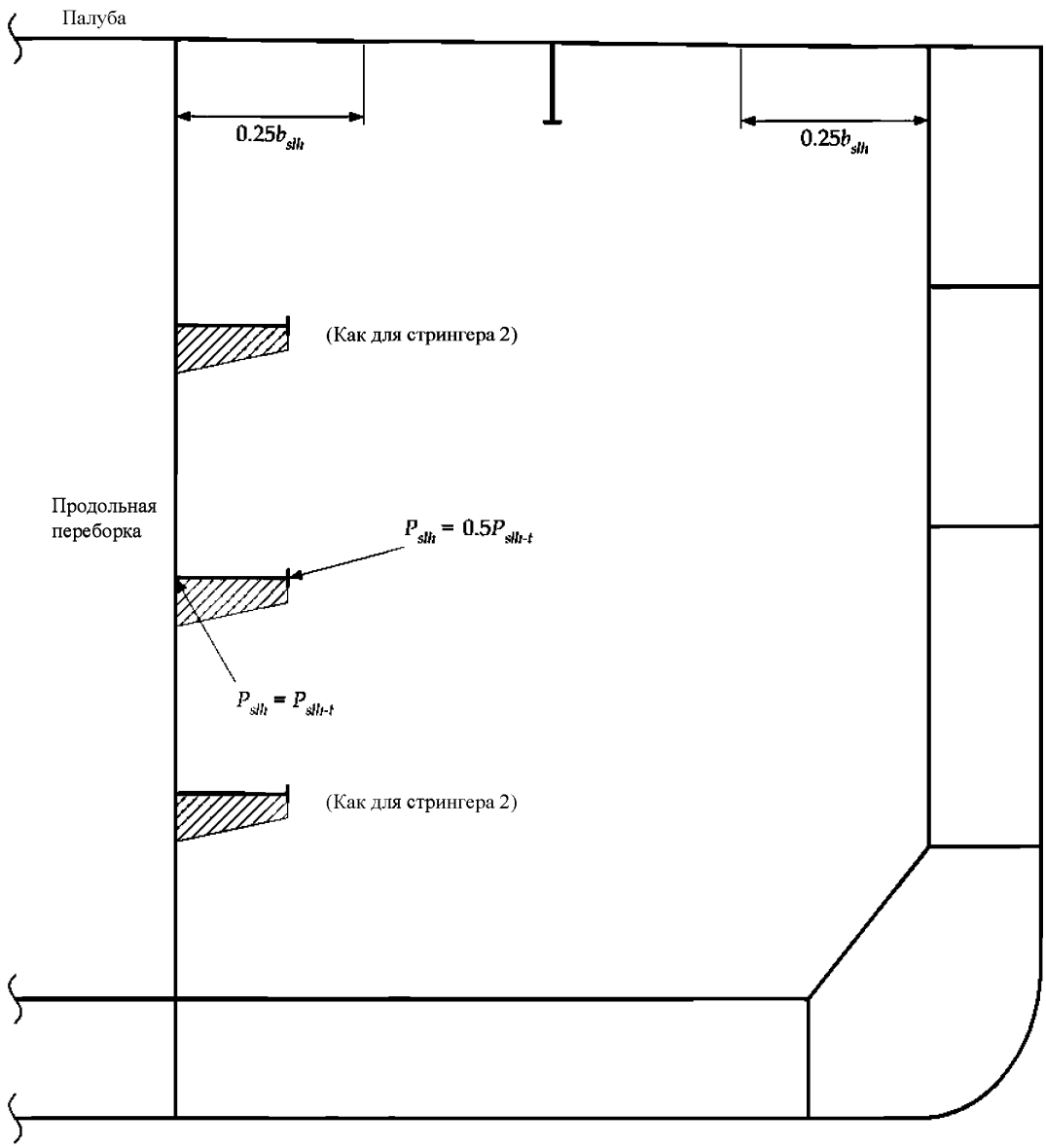
$T_{FP\text{-}full}$ расчетная балластная осадка на носовом перпендикуляре при ударной нагрузке от воздействия волн при заполненных балластных цистернах в районе ударной нагрузки, как указано в *4.3.2.3*, м;

c_{av} коэффициент динамичности, принимается равным 1,25;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

z_{ball} вертикальное расстояние от второго дна до точки приложения нагрузки, м.

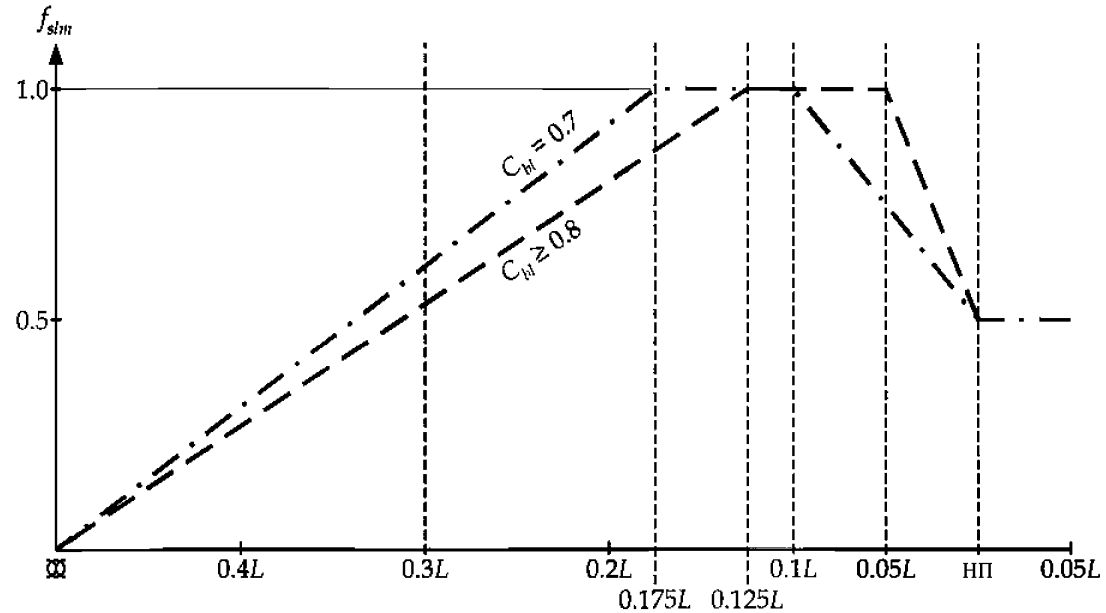
Рис. 7.4.4
Распределение давления от ударов жидкости по стрингерам и продольным балкам



4.3.2.2 Проектировщик должен обеспечить расчетные осадки, $T_{FP\text{-}mt}$ и $T_{FP\text{-}full}$, при ударной нагрузке от воздействия волн.

4.3.2.3 Расчетная осадка, $T_{FP\text{-}mt}$, на носовом перпендикуляре при ударной нагрузке от воздействия волн не должна превышать минимальную осадку на носовом перпендикуляре, указанную в Инструкции по загрузке для всех условий плавания, при которых балластные цистерны в пределах района действия ударной нагрузки остаются порожними. Сюда относятся любые варианты нагрузки при наличии цистерн, находящихся в пределах района действия ударной нагрузки, в отношении которых используется метод "последовательной" замены балласта.

Рис. 7.4.5
Продольное распределение ударного давления



4.3.2.4 Расчетная осадка, $T_{FP\text{-}full}$, на носовом перпендикуляре при ударной нагрузке от воздействия волн не должна превышать минимальную осадку на носовом перпендикуляре, указанную в Инструкции по загрузке для всех условий плавания, при которых балластные цистерны в пределах района действия ударной нагрузки заполнены. Сюда относится любой вариант нагрузки при наличии цистерн, находящихся в пределах района действия ударной нагрузки, в отношении которых используется метод замены балласта путем "прокачки".

4.3.2.5 В Информации по загрузке должны быть четко указаны расчетные осадки при ударной нагрузке от воздействия волн и метод замены балласта для каждой балластной цистерны, см. *раздел 8/1.1*.

4.4 Ударные нагрузки при ударах о воду носа судна

4.4.1 Область применения и ограничения

4.4.1.1 Динамическое давление при ударах о воду носа судна прикладывается к бортовым конструкциям на длине $0{,}1L$ в корму от носового перпендикуляра и между статической ватерлинией при осадке, T_{bal}, и наивысшей палубой у борта.

4.4.2 Динамическое давление при ударах о воду носа судна

4.4.2.1 Динамическое давление при ударах о воду носа судна, P_{im}, должно приниматься равным:

$$P_{im} = 1{,}025 f_{im} c_{im} V^2_{im} \sin\gamma_{wl} \quad \text{кН/м}^2,$$

где f_{im} = 0,55 в точке $0{,}1L$ в корму от носового перпендикуляра;
0,9 в точке $0{,}0125L$ в корму от носового перпендикуляра;
1,0 на носовом перпендикуляре и в нос от него;
промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;
V_{im} скорость при ударе, м/с,

$= 0{,}514V_{fwd} \sin \alpha_{wl} + \sqrt{L}$;

V_{fwd} **скорость переднего хода**, уз.;
$= 0{,}75V$, но не менее 10;

V эксплуатационная скорость, уз., как указано в *разделе 4/1.1.8.1*;

α_{wl} местный угол наклона ватерлинии в рассматриваемой точке, но не менее 35°, см. *рис. 7.4.6*;

γ_{wl} местный угол при ударе о воду носа судна, измеренный перпендикулярно к обшивке в рассматриваемой точке, но не менее 50°, см. *рис. 7.4.6*;

c_{im} = 1,0 для точек между осадками T_{bal} и T_{sc};

$= \sqrt{1 + \cos^2\left[90 \dfrac{h_{fb} - 2h_0}{h_{fb}}\right]}$ для точек выше осадки T_{sc};

h_{fb} вертикальное расстояние от ватерлинии при осадке T_{sc} до наивысшей палубы у борта, см. *рис. 7.4.6*, м;

h_0 вертикальное расстояние от ватерлинии при осадке, T_{sc}, до рассматриваемой точки, см. *рис. 7.4.6*, м;

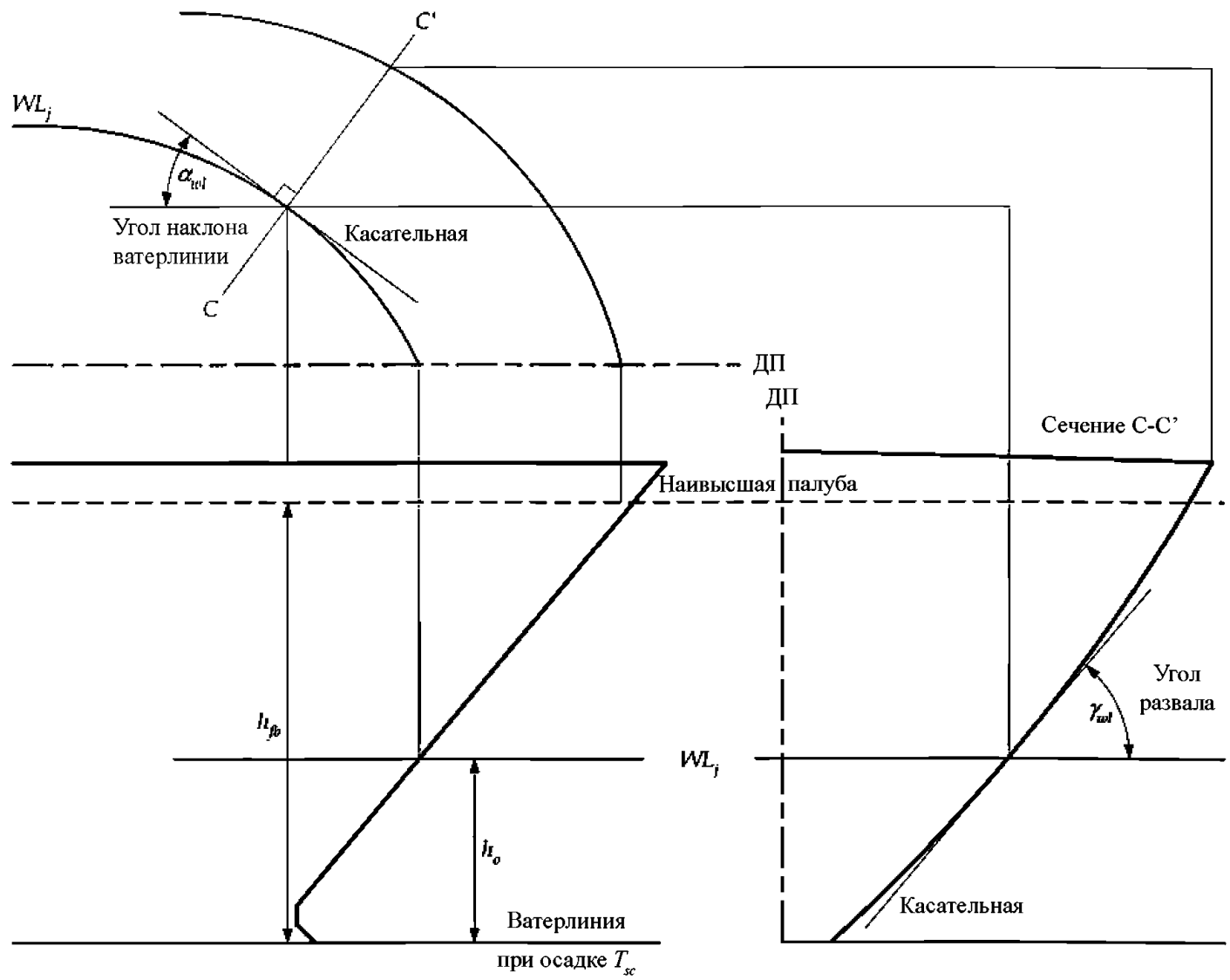
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;

T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*

T_{bal} минимальная расчетная осадка для нормального балластного состояния, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.2;*

WL_j ватерлиния в рассматриваемой точке, см. *рис. 7.4.6*.

Рис. 7.4.6
Геометрические характеристики носовой части судна



5 Случайные нагрузки

5.1 Затопленное состояние

5.1.1 Местное давление

5.1.1.1 Давление в отсеках и цистернах в затопленном или аварийном состоянии должно приниматься равным $P_{in\text{-}flood}$, см. *2.2.3.4*.

6 Сочетание нагрузок

6.1 Общие положения

6.1.1 Область применения

6.1.1.1 Сочетания расчетных нагрузок *S*, *S* + *D* и *A* должны использоваться в расчетах размерах связей корпуса судна для требований к размерам связей корпуса и оценки прочности (методом конечных элементов). Сочетания расчетных нагрузок определены в *разделе 2/4.2.2*, и соответствующие нагрузки и сочетания нагрузок должны приниматься, как указано в *6.2*.

6.1.1.2 Динамические нагрузки *D* включают несколько сочетаний динамических нагрузок. Для каждого сочетания динамических нагрузок предельные значения нагрузки, как указано в *подразделе 3*, умножаются на коэффициент сочетания динамических нагрузок для получения одновременно действующих динамических нагрузок. Методы расчета одновременно действующих динамических нагрузок приведены в *6.3*. Коэффициенты сочетания динамических нагрузок для оценки прочности (методом конечных элементов) приведены в *6.4* и для требований к размерам связей корпуса – в *6.5*.

6.2 Сочетание расчетных нагрузок

6.2.1 Общие положения

6.2.1.1 Сочетания расчетных нагрузок приведены в *табл. 7.6.1*.

Таблица 7.6.1

Сочетания расчетных нагрузок

Составляющие нагрузки \ Сочетания расчетных нагрузок		*S*	*S* + *D*	*A*
1		2	3	4
$M_{v\text{-}total}$		$M_{sw\text{-}harb}$	$M_{sw\text{-}sea} + M_{wv}$	–
$M_{h\text{-}total}$		–	M_h	–
Q		$Q_{sw\text{-}harb}$	$Q_{sw\text{-}sea} + Q_{wv}$	–
P_{ex}	Открытая палуба	–	$P_{wdk\text{-}dyn}$	–
	Обшивка корпуса	P_{hys}	$P_{hys} + P_{wv\text{-}dyn}$	–

1		2	3	4
P_{in}	**Балластные цистерны (замена балласта методом последовательного заполнения)**	Большее из: а) $P_{in\text{-}test}$ б) $P_{in\text{-}air} + P_{drop}$	$P_{in\text{-}tk} + P_{in\text{-}dyn}$	$P_{in\text{-}flood}$
	Балластные цистерны (замена балласта методом прокачки)	Большее из: а) $P_{in\text{-}test}$ б) $P_{in\text{-}air} + P_{drop}$	$P_{in\text{-}air} + P_{drop} + P_{in\text{-}dyn}$	$P_{in\text{-}flood}$
	Грузовые танки, включая грузовые танки, заполняемые водяным балластом	Большее из: а) $P_{in\text{-}test}$ б) $P_{in\text{-}tk} + P_{valve}$	$P_{in\text{-}tk} + P_{in\text{-}dyn}$	–
	Другие цистерны, заполняемые жидкостью	Большее из: а) $P_{in\text{-}test}$ б) $P_{in\text{-}air}$	$P_{in\text{-}tk} + P_{in\text{-}dyn}$	$P_{in\text{-}flood}$
	Водонепроницаемые границы	–	–	$P_{in\text{-}flood}$
P_{dk}	**Внутренние палубы для сухих помещений**	P_{stat}	$P_{stat} + P_{dk\text{-}dyn}$	–
	Палубы для тяжеловесных грузовых единиц	F_{stat}	$F_{stat} + F_{dk\text{-}dyn}$	–

Примечание

1. Требования к отдельным нагрузкам могут быть уточнены при оценке прочности (методом конечных элементов) и в требованиях к размерам связей корпуса.

где $M_{v\text{-}total}$ расчетный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, кНм;

$M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде при операциях в порту/ водах, защищенных от волнения, кНм, см. *2.1.1;*

$M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимые предельные значения изгибающих моментов в корпусе судна при перегибе и прогибе на тихой воде при переходе морем, кНм, см. *2.1.1;*

M_{wv} волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кНм, см. *6.3.2.1;*

$M_{h\text{-}total}$ расчетный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, кНм;

M_h волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кНм, см. *6.3.3.1;*

Q расчетная вертикальная перерезывающая сила, кН;

$Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ допустимые предельные значения для положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде при операциях в порту/водах, защищенных от волнения, кН, см. *2.1.3;*

$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимые предельные значения для положительных и отрицательных перерезывающих сил в корпусе судна на тихой воде при переходе морем, кН, см. *2.1.3;*

Q_{wv} вертикальная волновая перерезывающая сила для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кН, см. *6.3.4.1;*

P_{ex} расчетное давление со стороны моря, кН/м²;

P_{hys} статическое давление со стороны моря при рассматриваемой осадке, кН/м², см. *2.2.2.1;*

$P_{wv\text{-}dyn}$ динамическое волновое давление для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кН/м², см. *6.3.5;*

$P_{wdk\text{-}dyn}$ нагрузка от заливания палубы водой для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кН/м², см. *6.3.6;*

P_{in} расчетное давление в цистерне, кН/м²;

$P_{in\text{-}test}$ испытательное давление в цистерне, кН/м² см. *2.2.3.5;*

$P_{in\text{-}air}$ статическое давление в цистерне в случае переполнения или заполнения при замене балласта методом прокачки, кН/м², см. *2.2.3.2;*

P_{drop} дополнительное избыточное давление при выливе жидкости через воздушную или переливную трубу, кН/м², см. *2.2.3.3;*

P_{valve} установочное давление предохранительного клапана, кН/м², см. *2.2.3.5;*

$P_{in\text{-}tk}$ статическое давление в цистерне, кН/м², см. *2.2.3.1*;

$P_{in\text{-}dyn}$ динамическое давление в цистерне для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, кН/м², см. *6.3.7;*

$P_{in\text{-}flood}$ давление в отсеках и цистернах в затопленном или аварийном состоянии, кН/м², см. *2.2.3.4;*

P_{stat} статическое давление на палубные конструкции и второе дно, кН/м², см. *2.2.4.1;*

P_{dk} расчетное давление на палубные конструкции, кН/м²;

$P_{dk\text{-}dyn}$ динамическое давление на палубные конструкции для палуб, второго дна и люковых закрытий для рассматриваемого варианта динамической нагрузки , кН/м², см. *6.3.8.1*;

F_{stat} нагрузка, действующая на опорные конструкции и системы крепления для тяжеловесных грузовых единиц, оборудование или на конструктивные элементы, кН, см. *2.2.5.1;*

$F_{dk\text{-}dyn}$ динамическая нагрузка, действующая на опорные конструкции и системы крепления для тяжеловесных грузовых единиц, оборудование или на конструктивные элементы, кН, см. *6.3.8.2.*

6.3 Приложение динамических нагрузок

6.3.1 Поправочный коэффициент на направление волнения и коэффициенты сочетания динамических нагрузок

6.3.1.1 Поправочный коэффициент на направление волнения, f_β, должен приниматься равным:

$f_\beta = 0{,}8$ для вариантов динамической нагрузки при бортовом волнении;

$= 1{,}0$ для всех других вариантов динамической нагрузки.

6.3.1.2 Коэффициенты сочетания динамических нагрузок для расчетов одновременно действующих динамических нагрузок должны приниматься, как указано в *табл. 7.6.2*, при оценке прочности методом конечных элементов, см. *6.4*. Коэффициенты динамической нагрузки должны приниматься, как указано в *табл. 7.6.4 – 7.6.9*, для оценки размеров связей корпуса, см. *6.5*.

6.3.2 Волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, для рассматриваемого случая динамической нагрузки

6.3.2.1 Одновременно действующий волновой изгибающий момент в вертикальной плоскости, M_{wv}, должен приниматься равным:

$$M_{wv} = f_\beta f_{mv} M_{wv\text{-}hog} \quad \text{кНм} \quad \text{при } f_{mv} \geq 0;$$
$$M_{wv} = -f_\beta f_{mv} M_{wv\text{-}sag} \quad \text{кНм} \quad \text{при } f_{mv} < 0,$$

где $M_{wv\text{-}hog}$ волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при перегибе, кНм, как указано в *3.4.1.1;*

$M_{wv\text{-}sag}$ волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при прогибе, кНм, как указано в *3.4.1.1;*

f_{mv} коэффициент сочетания динамических нагрузок для волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1.*

6.3.3 Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.3.1 Одновременно действующий волновой изгибающий момент в горизонтальной плоскости, M_h, должен приниматься равным:

$$M_h = f_\beta f_{mh} M_{wv\text{-}h} \quad \text{кНм},$$

где $M_{wv\text{-}h}$ волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, кНм, как указано в *3.4.2*;

f_{mh} коэффициент сочетания динамических нагрузок для волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1.*

6.3.4 Вертикальная волновая перерезывающая сила для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.4.1 Одновременно действующая вертикальная волновая перерезывающая сила, Q_{wv}, должна приниматься равной:

$$Q_{wv} = f_\beta f_{qv} Q_{wv\text{-}pos} \quad \text{кН} \quad \text{при } f_{qv} \geq 0;$$
$$Q_{wv} = -f_\beta f_{qv} Q_{wv\text{-}neg} \quad \text{кН} \quad \text{при } f_{qv} < 0,$$

где $Q_{wv\text{-}pos}$ предельное значение положительной вертикальной волновой перерезывающей силы, кН, как указано в *3.4.3;*

$Q_{wv\text{-}neg}$ предельное значение отрицательной вертикальной волновой перерезывающей силы, кН, как указано в *3.4.3;*

f_{qv} коэффициент сочетания динамических нагрузок для вертикальной волновой перерезывающей силы для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1.*

6.3.5 Распределение динамического волнового давления для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.5.1 Одновременно действующее динамическое волновое давление, $P_{wv\text{-}dyn}$, по левому и правому борту в районе грузовых танков для рассматриваемого варианта динамической нагрузки должно приниматься как указано ниже, но должно быть не менее $-\rho_{sw}\, g(T_{LC} - z)$ ниже ватерлинии на тихой воде или менее 0 выше этой ватерлинии:

$P_{wv\text{-}dyn} = P_{ctr} + \dfrac{|y|}{0{,}5\, B_{local}}(P_{bilge} - P_{ctr})$ между диаметральной плоскостью и началом скулы;

$P_{wv\text{-}dyn} = P_{bilge} + \dfrac{z}{T_{LC}}(P_{WL} - P_{bilge})$ между окончанием скулы и ватерлинией на тихой воде;

$P_{wv\text{-}dyn} = P_{WL} - 10\,(z - T_{LC})$ для бортовой обшивки выше ватерлинии на тихой воде;

промежуточные значения $P_{wv\text{-}dyn}$ на длине скулы должны определяться линейной интерполяцией по вертикали,

где P_{ctr} динамическое волновое давление на днище в диаметральной плоскости, принимаемое равным: $= f_{ctr} P_{ex\text{-}max}$ кН/м²;

P_{bilge} динамическое волновое давление при $z = 0$ и $y = B_{local}/2$, принимаемое равным: $= f_{bilge} P_{ex\text{-}max}$ кН/м²;

P_{WL} динамическое волновое давление на уровне ватерлинии, принимаемое равным: $= f_{WL} P_{ex\text{-}max}$ кН/м²;

$P_{ex\text{-}max}$ предельное значение максимального динамического волнового давления, кН/м², как указано в *3.5.2.2;*

f_{WL} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_{bilge} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления в районе скулы для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_{ctr} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления в диаметральной плоскости для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

B_{local} местная ширина на уровне ватерлинии для рассматриваемой осадки, м;

T_{LC} осадка при рассматриваемом варианте нагрузки, м;

y поперечная координата, м;

z вертикальная координата, м;

ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м³;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с².

6.3.5.2 Одновременно действующее динамическое волновое давление по левому и правому борту вне района грузовых танков, $P_{wv\text{-}dyn}$, для рассматриваемого варианта динамической нагрузки должно определяться линейной интерполяцией между P_{ctr} и P_{WL}, но должно быть не менее $-\rho_{sw} g(T_{LC} - z)$ ниже ватерлинии на тихой воде или менее 0 выше этой ватерлинии:

где P_{ctr} динамическое волновое давление на днище в диаметральной плоскости, принимаемое равным: $= f_{ctr} P_{ex\text{-}max}$ кН/м²;

P_{WL} динамическое волновое давление на уровне ватерлинии на тихой воде, принимаемое равным: $= f_{WL} P_{ex\text{-}max}$ кН/м²;

$P_{ex\text{-}max}$ предельное значение максимального динамического волнового давления, кН/м², как указано в *3.5.2.2*;

f_{WL} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

f_{ctr} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления в диаметральной плоскости для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2;*

T_{LC} осадка при рассматриваемом варианте нагрузки, м;

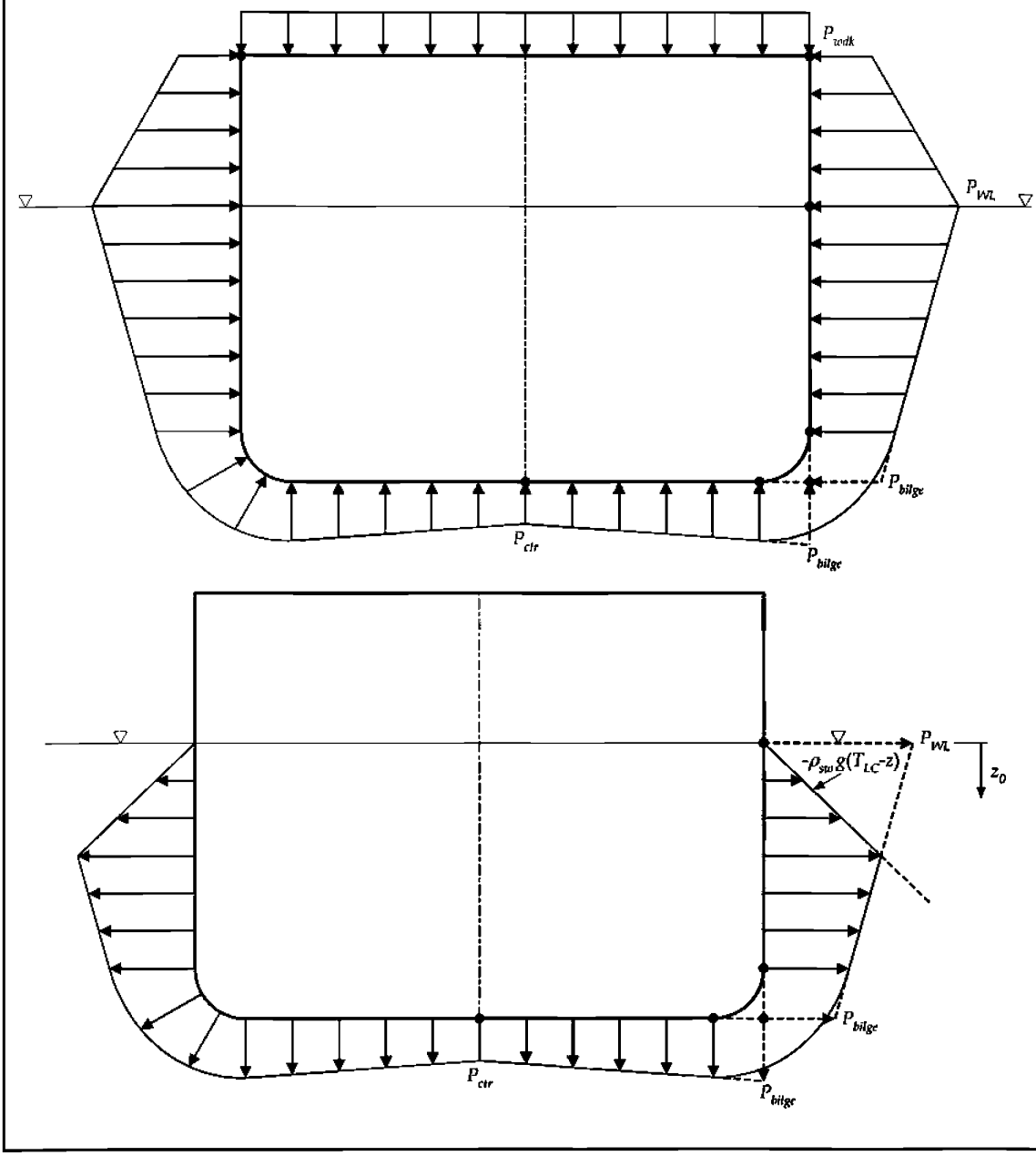
z вертикальная координата, м;

ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м³;

g ускорение из-за действия силы тяжести, 9,81 м/с².

6.3.5.3 На *рис. 7.6.1 – 7.6.3* показаны одновременно действующие динамические волновые давления.

Рис. 7.6.1
Динамическое волновое давление для вариантов динамической нагрузки на встречном волнении



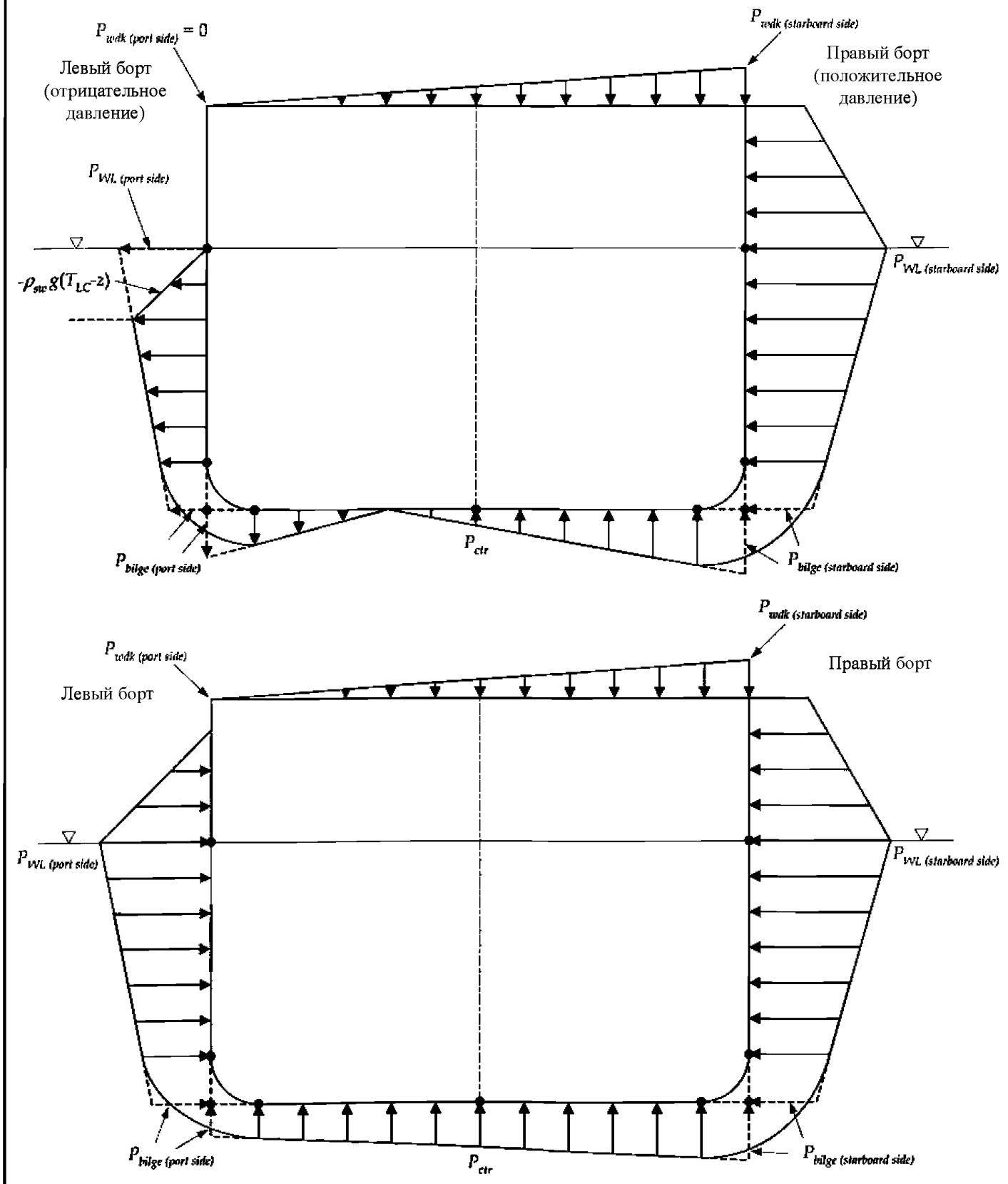
6.3.6 Нагрузка от заливания палубы для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.6.1 Одновременно действующая нагрузка от заливания открытой палубы водой, $P_{wdk\text{-}dyn}$, для оценки прочности получается линейной интерполяцией между $P_{wdk\text{-}pt}$ и $P_{wdk\text{-}stb}$:

Нагрузка от заливания палубы по левому борту, $P_{wdk\text{-}pt}$, должна приниматься как наибольшая из:

$P_{wdk\text{-}pt} = f_{1\text{-}dk}(f_{WL} f_{op} P_{1\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T})$ кН/м²;
$P_{wdk\text{-}pt} = 0{,}8(f_{WL} P_{2\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T})$ кН/м²;

Рис. 7.6.2
Динамическое волновое давление для вариантов динамической нагрузки при бортовом и косом волнении

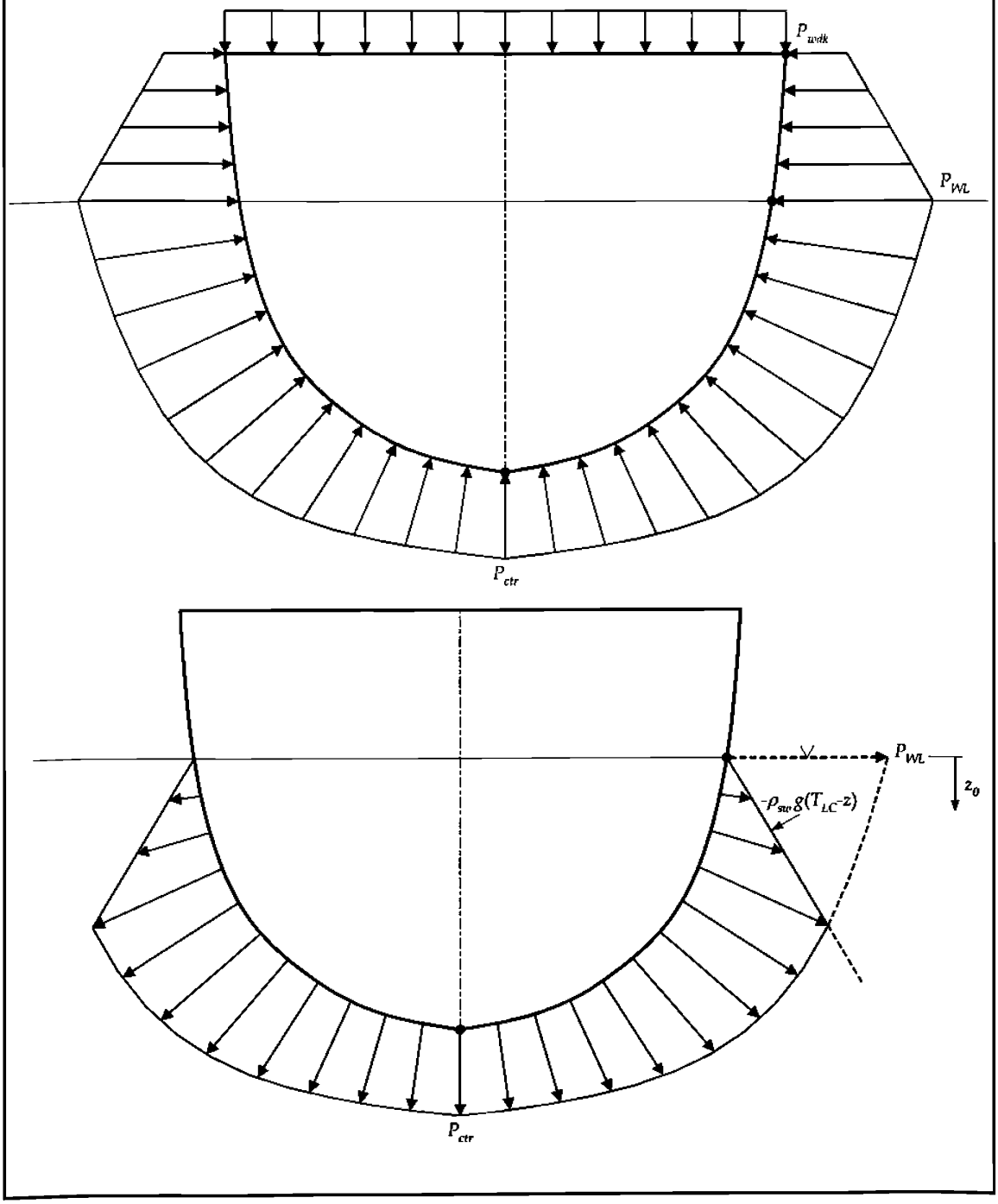


$P_{wdk\text{-}pt}$ не менее 34,3 кН/м² при $f_{WL} = 1{,}0$ и осадке судна, принятой в расчетном варианте нагрузки большей или равной $0{,}9T_{sc}$.

Нагрузка от заливания палубы по правому борту, $P_{wdk\text{-}stb}$, должна приниматься как наибольшая из:

$P_{wdk\text{-}stb} = f_{1\text{-}dk}(f_{WL} f_{op} P_{1\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T})$ кН/м²;

Рис. 7.6.3
Распределение давления в носовой и кормовой части судна на вершине и подошве волны



$P_{wdk\text{-}pt} = 0{,}8(f_{WL}P_{2\text{-}WL} - 10z_{dk\text{-}T})$ кН/м²;

$P_{wdk\text{-}stb}$ не менее 34,3 кН/м² при $f_{WL} = 1{,}0$ и осадке судна, принятой в расчетном варианте нагрузки большей или равной $0{,}9T_{sc}$;

$P_{wdk\text{-}pt}$ и $P_{wdk\text{-}stb}$ не должны приниматься менее 0,

где $f_{1\text{-}dk} = 0{,}8 + L/750$;
f_{op} = 1,0 в точке $0{,}2L$ от кормового перпендикуляра и в нос от нее = 0,8 на кормовом перпендикуляре и в корму от него промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;
$P_{1\text{-}WL}$ давление P_1 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м², см. *3.5.2.1*;
$P_{2\text{-}WL}$ давление P_2 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м², см. *3.5.2.1*;
f_{WL} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;
$z_{dk\text{-}T}$ расстояние от палубы до ватерлинии на тихой воде для применимой осадки для рассматриваемого варианта нагрузки, м;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

6.3.6.2 Одновременно действующая нагрузка от заливания открытой палубы, $P_{wdk\text{-}dyn}$, для требований к размерам связей корпуса должна приниматься как наибольшая из:

$$P_{wdk\text{-}dyn} = f_{1\text{-}dk}(f_{WL} f_{op} P_{1\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T}) \quad \text{кН/м}^2,$$

но не менее 34,3 кН/м² при $f_{WL} = 1{,}0$ и осадке судна, принятой в расчетном варианте нагрузки большей или равной $0{,}9T_{sc}$;

$$P_{wdk\text{-}dyn} = 0{,}8 f_{2\text{-}dk} (f_{WL} P_{2\text{-}WL} - 10 z_{dk\text{-}T}) \quad \text{кН/м}^2,$$

но не менее 34,3 кН/м² при $f_{WL} = 1{,}0$ и $f_{2\text{-}dk} = 1{,}0$ и осадке судна, принятой в расчетном варианте нагрузки большей или равной $0{,}9T_{sc}$;

$$P_{wdk\text{-}dyn} = 0,$$

где $f_{1\text{-}dk} = 0{,}8 + L/750$;
$f_{2\text{-}dk} = 0{,}5 + |y|/B_{wdk}$;
f_{op} = 1,0 в точке $0{,}2L$ от кормового перпендикуляра и в нос от нее;
= 0,8 на кормовом перпендикуляре и в корму от него;
промежуточные значения должны определяться линейной интерполяцией;
$P_{1\text{-}WL}$ давление P_1 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м²;
$P_{2\text{-}WL}$ давление P_2 на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемой осадки, кН/м²;
f_{WL} коэффициент сочетания динамических нагрузок для динамического волнового давления на уровне ватерлинии на тихой воде для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;
y поперечная координата, м;
$z_{dk\text{-}T}$ расстояние от палубы до ватерлинии на тихой воде для применимой осадки для рассматриваемого варианта нагрузки, м;
B_{wdk} местная ширина на уровне открытой палубы, м;
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

6.3.7 Динамическое давление в цистерне для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.7.1 Одновременно действующее динамическое давление в цистерне, $P_{in\text{-}dyn}$, в районе грузовых танков должно приниматься равным:

$$P_{in\text{-}dyn} = f_\beta (f_v P_{in\text{-}v} + f_t P_{in\text{-}t} + f_{lng} P_{in\text{-}lng}) \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{in\text{-}v}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие вертикального ускорения, как указано в *3.5.4.1*, с исходной точкой z_0, принятой как:
а) верх цистерны;
б) верх воздушной/переливной трубы для балластных цистерн с заменой балласта методом прокачки см. *рис. 7.6.4*, кН/м²;
$P_{in\text{-}t}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие поперечного ускорения, как указано в *3.5.4.2*, с исходной точкой y_0, принятой как:
а) верх цистерны в направлении левого борта для $f_t > 0$;
б) верх цистерны в направлении правого борта для $f_t < 0$;
см. *рис. 7.6.5*, кН/м²;
$P_{in\text{-}lng}$ предельное значение динамического давления в танке вследствие продольного ускорения, как указано в *3.5.4.3*, с исходной точкой x_0, принятой как:
а) носовая переборка для $f_{lng} > 0$;

б) кормовая переборка цистерны для $f_{lng} < 0$;

см. *рис. 7.6.6*, кН/м²;

f_v коэффициент сочетания динамических нагрузок для вертикального ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки. f_v должен приниматься согласно расположению цистерны, см. *6.3.1.2*;

f_t коэффициент сочетания динамических нагрузок для поперечного ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;

f_{lng} коэффициент сочетания динамических нагрузок для продольного ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки. f_{lng} должен приниматься как наиболее соответствующий расположению цистерны, см. *6.3.1.2*;

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1*;

x_0 продольная координата исходной точки, м;

y_0 поперечная координата исходной точки, м;

z_0 вертикальная координата исходной точки, м.

Примечание

1. Для цистерны с непараллельными стенками y_0 следует выбирать или от носовой, или от кормовой переборки, соответствующей исходной точке x_0. Если продольный коэффициент сочетания нагрузок $f_{lng} = 0$, то y_0 следует выбирать из переборки наибольшей ширины.

2. Вертикальное, поперечное и продольное ускорения должны приниматься в центре тяжести рассматриваемой цистерны.

6.3.7.2 Одновременно действующее динамическое давление в цистерне вне района грузовых танков, $P_{in\text{-}dyn}$, должно приниматься равным:

$$P_{in\text{-}dyn} = f_\beta \left(f_{v\text{-}mid} P_{in\text{-}v} + |f_t P_{in\text{-}t}| + |f_{lng} P_{in\text{-}lng}|\right) \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{in\text{-}v}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие вертикального ускорения, как указано в *3.5.4.1*, с исходной точкой z_0, принятой как:

а) верх цистерны;

б) верх воздушной трубы для балластных цистерн с заменой балласта методом прокачки;

см. *рис. 7.6.5*, кН/м²;

$P_{in\text{-}t}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие поперечного ускорения, как указано в *3.5.4.2*, используя $(y_0 - y)$ как предельную ширину цистерны, кН/м²;

$P_{in\text{-}lng}$ предельное значение динамического давления в цистерне вследствие продольного ускорения, как указано в *3.5.4.3*, используя $(x_0 - x)$ как предельную длину цистерны, кН/м²;

$f_{v\text{-}mid}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок для вертикального ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;

f_t коэффициент сочетания динамических нагрузок для поперечного ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;

f_{lng} коэффициент сочетания динамических нагрузок для продольного ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1*;

x_0 продольная координата исходной точки, м;

y_0 поперечная координата исходной точки, м;

z_0 вертикальная координата исходной точки, м.

6.3.8 Динамические нагрузки на палубные конструкции для рассматриваемого варианта динамической нагрузки

6.3.8.1 Одновременно действующая динамическая равномерно-распределенная нагрузка, $P_{dk\text{-}dyn}$, на закрытую верхнюю палубу при наличии бака или юта, а также на все нижние палубы должна приниматься равной:

$$P_{dk\text{-}dyn} = f_\beta f_{v\text{-}mid} P_{deck\text{-}dyn} \quad \text{кН/м}^2,$$

где $P_{deck\text{-}dyn}$ предельное значение динамического давления на палубные конструкции для палуб, второго дна и люковых закрытий, кН/м², как указано в *3.5.5.1*;

$f_{v\text{-}mid}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок для вертикального ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *6.3.1.2*;

f_β поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1*.

6.3.8.2 Одновременно действующая динамическая вертикальная сила от тяжеловесных агрегатов, $F_{dk\text{-}dyn}$, действующая на опорные конструкции и системы крепления для тяжеловесных грузовых единиц, оборудование или конструктивные элементы, должна приниматься равной:

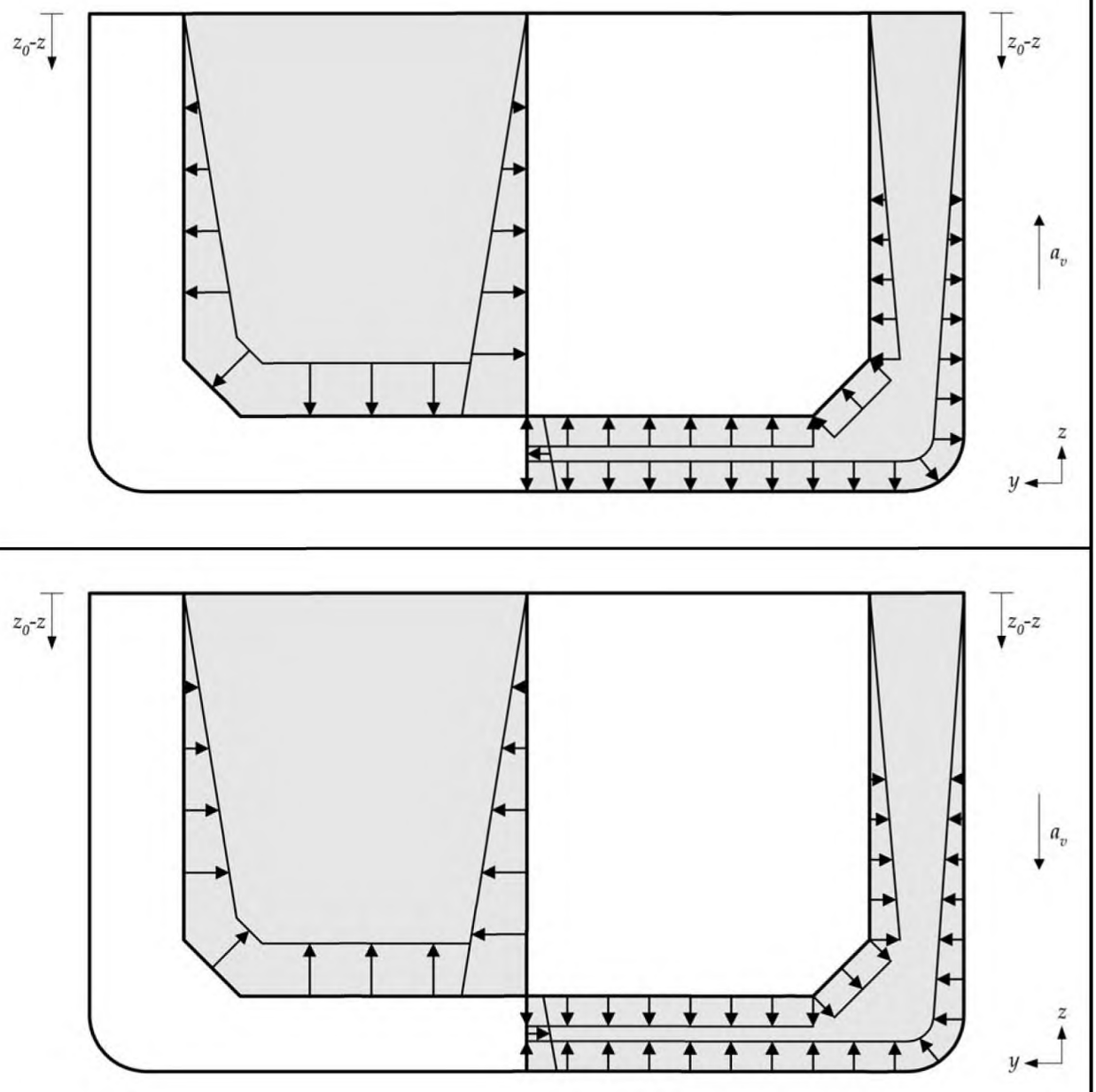
$$F_{dk\text{-}dyn} = f_{\beta} f_{v\text{-}mid} F_{v} \quad \text{кН},$$

где F_v предельное значение вертикальной динамической нагрузки от тяжеловесных агрегатов, кН, как указано в *3.5.6*

$f_{v\text{-}mid}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок для вертикального ускорения для рассматриваемого варианта динамической нагрузки, см. *табл. 7.6.2* и *табл. 7.6.4 – 7.6.9*;

f_{β} поправочный коэффициент на направление волнения, как указано в *6.3.1.1*.

Рис. 7.6.4
Динамическое давление в грузовом танке (слева) и балластной цистерне (справа) вследствие положительного и отрицательного вертикального ускорения цистерны



Примечание

Для балластной цистерны с заменой балласта методом прокачки исходная точка z_0 должна приниматься как верх воздушной/переливной трубы цистерны.

Рис. 7.6.5
Динамическое давление в грузовом танке (слева) и балластной цистерне (справа) вследствие отрицательного и положительного поперечного ускорения цистерны

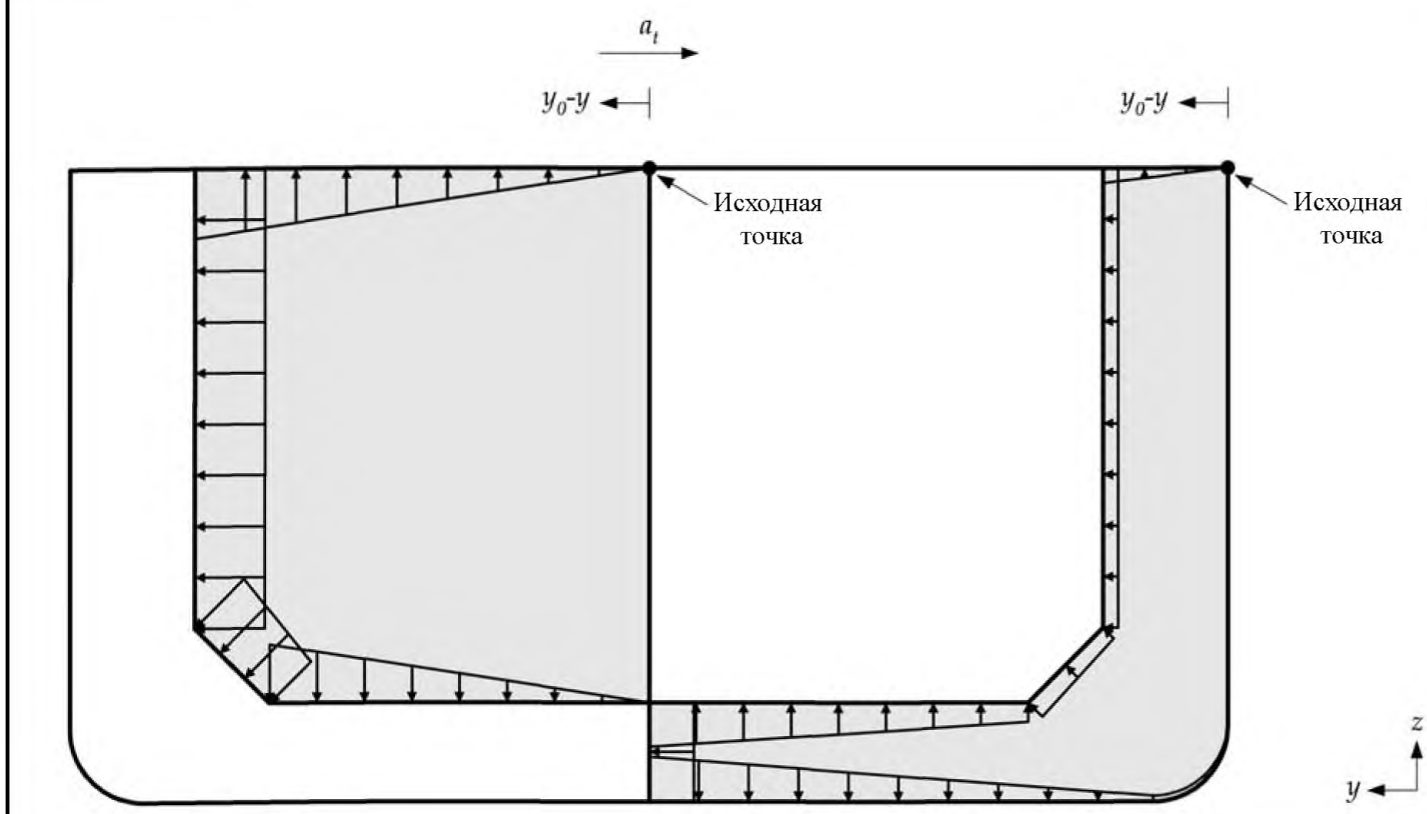
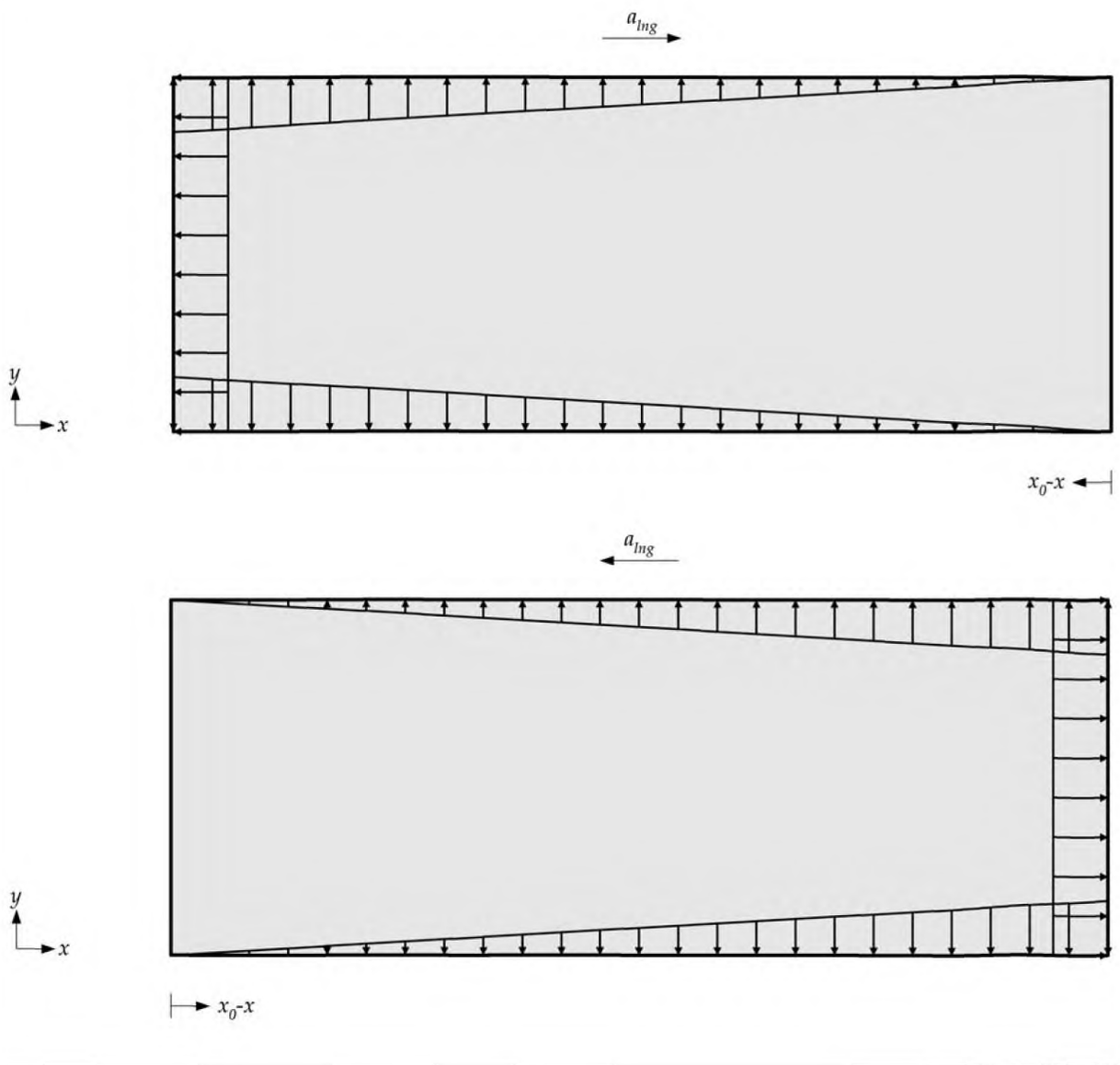


Рис. 7.6.6
Динамическое давление в грузовых танках и цистернах вследствие положительного и отрицательного продольного ускорения



6.4 Варианты динамической нагрузки и коэффициенты сочетания динамических нагрузок для оценки прочности

6.4.1 Общие положения

6.4.1.1 Для оценки прочности (методом конечных элементов) варианты динамической нагрузки, указанные в *табл. 7.6.2*, должны применяться в соответствии с требованиями *приложения B* для Расчетного сочетания нагрузок *S* + *D*. Варианты одновременно действующих динамических нагрузок должны выводиться при помощи коэффициентов сочетания динамических нагрузок, указанных в *табл. 7.6.2*.

Таблица 7.6.2

Варианты динамической нагрузки для оценки прочности (методом конечных элементов)

Направление волнения			**Встречное**				**Бортовое**		**Косое**	
Максимальный отклик			M_{wv} (прогиб)	M_{wv} (перегиб)	Q_{wv} (прогиб)	Q_{wv} (перегиб)	a_v		$M_{wv\text{-}h}$ (перегиб)	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2**	**3**	**4**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**
Общие нагрузки	M_{wv} Q_{wv} $M_{wv\text{-}h}$	f_{mv} f_{qv} f_{mh}	- 1,0 1,0 0,0	1,0 - 1,0 0,0	- 1,0 1,0 0,0	1,0 - 1,0 0,0	0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0	0,4 0,0 1,0	0,4 0,0 - 1,0
Ускорения	a_v a_t a_{lng}	f_v f_t f_{lng}	0,5 0,0 - 0,6	- 0,5 0,0 0,6	0,3 0,0 - 0,6	- 0,3 0,0 0,6	1,0 - 0,6 - 0,5	1,0 0,6 - 0,5	- 0,1 0,0 0,5	- 0,1 0,0 0,5
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{WL} P_{bilge} P_{ctr}	f_{WL} f_{bilge} f_{ctr}	- 0,3 -0,3 -0,7	0,3 0,3 0,7	0,1 0,1 0,3	- 0,1 - 0,1 - 0,3	1,0 1,0 0,9	0,4 0,4 0,9	0,6 0,4 0,5	0,0 0,0 0,5
Динамическое волновое давление для правого борта	P_{WL} P_{bilge} P_{ctr}	f_{WL} f_{bilge} f_{ctr}	- 0,3 - 0,3 - 0,7	0,3 0,3 0,7	0,1 0,1 0,3	- 0,1 - 0,1 - 0,3	0,4 0,4 0,9	1,0 1,0 0,9	0,0 0,0 0,5	0,6 0,4 0,5

где условные обозначения, как указано в *3.3*, *6.3.5.1*, *табл. 7.6.1* и ниже:

$f_{v\text{-}mid}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с вертикальным ускорением центрального грузового танка и центральной балластной цистерны;

$f_{v\text{-}pt}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с вертикальным ускорением грузового танка и балластной цистерны левого борта;

$f_{v\text{-}stb}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с вертикальным ускорением грузового танка и балластной цистерны правого борта.

Примечание

1. Параметры и места приложения нагрузки, используемые в расчетах, должны приниматься согласно *приложению B/2.4.1*.

6.5 Варианты динамической нагрузки и сочетание динамических нагрузок для требований к размерам связей корпуса

6.5.1 Общие положения

6.5.1.1 Для требований к размерам связей корпуса применяемые варианты динамических нагрузок должны применяться в соответствии с совокупностью расчетных нагрузок, указанной в *табл. 8.2.7 – 8.2.9* для расчетного сочетания нагрузки $S + D$. Варианты одновременно действующих динамических нагрузок должны выводиться при помощи коэффициентов сочетания динамических нагрузок, указанных в *табл. 7.6.4 – 7.6.9*.

6.5.1.2 Выбор таблицы в отношении коэффициента сочетания динамических нагрузок зависит от рассматриваемого района по длине судна и указан на *рис. 7.6.7* и в *табл. 7.6.3*.

6.5.1.3 Каждый вариант динамической нагрузки в таблицах с коэффициентами сочетания динамических нагрузок содержит максимальное значение одной или более составляющих динамической нагрузки. Минимальные значения составляющих динамической нагрузки должны вычисляться умножением всех коэффициентов сочетания динамических нагрузок для варианта динамической нагрузки на – 1,0. Требования к размерам связей корпуса должны оцениваться для всех максимальных и минимальных значений вариантов динамической нагрузки.

6.5.1.4 Параметры нагрузки, используемые в расчетах, должны приниматься согласно *табл. 8.2.8* и *8.2.9*.

Рис. 7.6.7
Представление конструктивных районов



Таблица 7.6.3

Таблицы коэффициентов сочетания динамических нагрузок, применяемых к конструктивному району и варианту нагрузки

Конструктивный район	Машинное помещение и кормовая оконечность	Средний и кормовой районы грузовых танков	Носовой район грузовых танков	Носовая оконечность
Применимо для танков и помещений	в корму от кормового грузового танка	где абсцисса центра тяжести танка в корму от точки 0,85*L*	где абсцисса центра тяжести танка на точке 0,85*L* или в нос от нее	в нос от носовой переборки
Коэффициент сочетания динамических нагрузок для судна в грузу	*Таблица 7.6.8*	*Таблица 7.6.4*	*Таблица 7.6.6*	*Таблица 7.6.8*
Коэффициент сочетания динамических нагрузок для судна в балласте	*Таблица 7.6.9*	*Таблица 7.6.5*	*Таблица 7.6.7*	*Таблица 7.6.9*

Таблица 7.6.4

Варианты динамической нагрузки для среднего и кормового районов грузовых танков для судна в грузу

Направление волнения			**Встречное**			**Косое**		**Бортовое**					
Максимальный отклик			M_{wv}	a_v	a_{lng}	$M_{wv\text{-}h}$		a_t		P_{ctr}		P_{WL}	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2**	**3**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**	**7a**	**7b**
Общие нагрузки	M_{wv} $M_{wv\text{-}h}$	f_{mv} f_{mh}	1,0 0,0	- 1,0 0,0	0,5 0,0	- 0,2 1,0	- 0,2 - 1,0	- 0,1 - 0,1	- 0,1 0,1	- 0,2 0,0	- 0,2 0,0	- 0,3 0,0	- 0,3 0,0

Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$	- 0,2 - 0,2 - 0,2	0,5 0,5 0,5	- 0,4 - 0,4 - 0,4	- 0,1 - 0,1 -0,1	- 0,1 - 0,1 - 0,1	0,5 0,2 0,6	0,5 0,6 0,2	1,0 0,8 1,0	1,0 1,0 0,8	1,0 0,8 1,0	1,0 1,0 0,8
	a_t	f_t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	- 1,0	0,5	- 0,5	0,6	- 0,6
	$a_{lng\text{-}mid}$ $a_{lng\text{-}pt}$ $a_{lng\text{-}stb}$ $a_{lng\text{-}ctr}$	$f_{lng\text{-}mid}$ $f_{lng\text{-}pt}$ $f_{lng\text{-}stb}$ $f_{lng\text{-}ctr}$	0,3 0,3 0,3 0,3	- 0,6 - 0,6 - 0,6 - 0,6	1,0 1,0 1,0 1,0	- 0,3 - 0,4 - 0,2 - 0,3	- 0,3 - 0,2 - 0,4 - 0,3	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	- 0,6 - 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,6 - 0,6 - 0,6 - 0,6
Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	0,7 0,3 0,3	- 0,6 - 0,2 - 0,3	0,2 0,1 0,1	- 0,3 - 0,4 - 0,6	- 0,3 - 0,1 - 0,1	0,5 0,8 0,5	0,5 - 0,3 - 0,2	1,0 0,9 0,8	1,0 0,4 0,4	0,9 1,0 1,0	0,9 0,4 0,4
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	0,7 0,3 0,3	- 0,6 - 0,2 - 0,3	0,2 0,1 0,1	- 0,3 - 0,1 - 0,1	- 0,3 - 0,4 - 0,6	0,5 - 0,3 - 0,2	0,5 0,8 0,5	1,0 0,4 0,4	1,0 0,9 0,8	0,9 0,4 0,4	0,9 1,0 1,0

где условные обозначения, как указано в *3.3, 3.4.2, 6.3.5.1, табл. 7.6.1 и 7.6.2* и ниже:

$a_{v\text{-}pt}$ вертикальное ускорение для танка левого борта, м/с²;

$a_{v\text{-}stb}$ вертикальное ускорение для танка правого борта, м/с²;

$a_{lng\text{-}mid}$ продольное ускорение для центрального танка, м/с²;

$a_{lng\text{-}pt}$ продольное ускорение для танка левого борта, м/с²;

$a_{lng\text{-}stb}$ продольное ускорение для танка правого борта, м/с²;

$a_{lng\text{-}ctr}$ продольное ускорение для центрального балластной цистерны двойного дна, м/с²;

$f_{lng\text{-}pt}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с продольным ускорением грузового танка или балластной цистерны левого борта;

$f_{lng\text{-}stb}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с продольным ускорением грузового танка или балластной цистерны правого борта;

$f_{lng\text{-}ctr}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с продольным ускорением центральной балластной цистерны двойного дна;

$f_{lng\text{-}ctr}$ коэффициент сочетания динамических нагрузок, связанных с продольным ускорением центрального танка.

Таблица 7.6.5

Варианты динамической нагрузки для среднего и кормового районов грузовых танков для судна в балласте

Направление волнения			**Встречное**			**Косое**		**Бортовое**					
Максимальный отклик			M_{wv}	a_v	a_{lng}	$M_{wv\text{-}h}$		a_t		P_{ctr}		P_{WL}	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2**	**3**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**	**7a**	**7b**
Общие нагрузки	M_{wv} $M_{wv\text{-}h}$	f_{mv} f_{mh}	1,0 0,0	- 1,0 0,0	0,4 0,0	- 0,4 1,0	- 0,4 - 1,0	- 0,1 0,1	- 0,1 - 0,1	- 0,2 - 0,1	- 0,2 0,1	- 0,2 - 0,2	-0,2 0,2
Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$	- 0,1 - 0,1 - 0,1	0,4 0,40,4	- 0,2 - 0,2 - 0,2	0,1 0,1 0,1	0,1 0,1 0,1	0,5 0,1 0,8	0,5 0,8 0,1	1,0 0,7 1,0	1,0 1,0 0,7	1,0 0,6 1,0	1,0 1,0 0,6
	a_t	f_t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	- 1,0	0,8	- 0,8	0,6	- 0,6
	$a_{lng\text{-}mid}$ $a_{lng\text{-}pt}$ $a_{lng\text{-}stb}$ $a_{lng\text{-}ctr}$	$f_{lng\text{-}mid}$ $f_{lng\text{-}pt}$ $f_{lng\text{-}stb}$ $f_{lng\text{-}ctr}$	0,2 0,2 0,2 0,2	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1	1,0 1,0 1,0 1,0	- 0,6 - 0,6 - 0,4 - 0,4	- 0,6 - 0,4 - 0,6 - 0,4	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	- 0,2 - 0,2 - 0,2 - 0,2	- 0,2 - 0,2 - 0,2 - 0,2	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1

Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,3 0,3	- 0,8 - 0,2 - 0,2	0,3 0,1 0,1	- 0,5 - 0,4 - 0,6	- 0,5 0,0 0,0	0,3 0,9 0,7	0,3 - 0,4 - 0,4	0,8 0,9 0,9	0,8 0,3 0,2	0,4 0,9 1,0	0,4 0,2 0,2
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,3 0,3	- 0,8 - 0,2 - 0,2	0,3 0,1 0,1	-0,5 0,0 0,0	- 0,5 - 0,4 - 0,6	0,3 - 0,4 - 0,4	0,3 0,9 0,7	0,8 0,3 0,2	0.8 0,9 0,9	0,4 0,2 0,2	0,4 0,9 1,0
где условные обозначения, как указано в *3.3, 3.4.2, 6.3.5.1* и *табл. 7.6.1, 7.6.2* и *7.6.4*.													

Таблица 7.6.6

Варианты динамической нагрузки для носового района грузовых танков для судна в грузу

Направление волнения			**Встречное**		**Косое**								**Бортовое**			
Максимальный отклик			a_v	a_{lng}	a_{lng}		P_{ctr}		P_{bilge}		P_{WL}		a_v		a_t	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2**	**3a**	**3b**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**	**7a**	**7b**	**8a**	**8b**
Общие нагрузки	M_{wv} $M_{wv\text{-}h}$	f_{mv} f_{mh}	- 0,7 0,0	0,9 0,0	0,3 - 0,2	0,3 0,2	- 0,6 0,2	- 0,6 - 0,2	- 0,3 - 0,1	- 0,3 0,1	- 0,4 0,2	- 0,4 - 0,2	- 0,4 - 0,1	- 0,4 0,1	- 0,1 - 0,5	- 0,1 0,5
Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$	0,7 0,7 0,7	- 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,6 - 0,6 - 0,6	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7	0,9 0,9 1,0	0,9 1,0 0,9	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7	1,0 0,9 1,0	1,0 1,0 0,9	0,4 0,3 0,6	0,4 0,6 0,3
	a_t	f_t	0,0	0,0	- 0,4	0,4	0,1	- 0,1	0,7	- 0,7	0,5	- 0,5	0,6	- 0,6	1,0	- 1,0
	$a_{lng\text{-}mid}$ $a_{lng\text{-}pt}$ $a_{lng\text{-}stb}$ $a_{lng\text{-}ctr}$	$f_{lng\text{-}mid}$ $f_{lng\text{-}pt}$ $f_{lng\text{-}stb}$ $f_{lng\text{-}ctr}$	- 0,8 - 0,8 - 0,8 - 0,8	1,0 1,0 1,0 1,0	0,8 1,0 0,6 0,8	0,8 0,6 1,0 0,8	- 1,0 - 1,0 - 0,9 - 1,0	- 1,0 - 0,9 - 1,0 - 1,0	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	-1,0 - 1,0 - 0,7 - 1,0	- 1,0 - 0,7 - 1,0 - 1,0	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	- 0,5 - 0,5 - 0,5 - 0,5	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1	- 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1
Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,6 0,3	- 0,9 - 0,7 - 0,5	- 0,4 - 0,6 - 0,9	- 0,4 - 0,2 - 0,2	1,0 0,9 0,8	1,0 0,6 0,4	0,8 1,0 0,9	0,8 0,5 0,4	0,5 0,7 1,0	0,5 0,3 0,2	0,8 1,0 0,9	0,8 0,5 0,4	0,4 0,8 0,6	0,4 - 0,1 - 0,2
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,6 0,3	- 0,9 - 0,7 - 0,5	- 0,4 - 0,2 - 0,2	- 0,4 - 0,6 - 0,9	1,0 0,6 0,4	1,0 0,9 0,8	0,8 0,5 0,4	0.8 1,0 0,9	0,5 0,3 0,2	0,5 0,7 1,0	0,8 0,5 0,4	0,8 1,0 0,9	0,4 - 0,1 - 0,2	0,4 0,8 0,6
где условные обозначения, как указано в *3.3, 3.4.2, 6.3.5.1* и *табл. 7.6.1, 7.6.2* и *7.6.4*.																

Таблица 7.6.7

Варианты динамической нагрузки для носового района грузовых танков для судна в балласте

Направление волнения			**Встречное**		**Косое**								**Бортовое**			
Максимальный отклик			a_v	a_{lng}	a_{lng}		P_{ctr}		P_{bilge}		P_{WL}		a_v		a_t	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2**	**3a**	**3b**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**	**7a**	**7b**	**8a**	**8b**
Общие нагрузки	M_{wv} $M_{wv\text{-}h}$	f_{mv} f_{mh}	- 0,8 0,0	0,9 0,0	0,7 - 0,4	0,7 0,4	- 1,0 0,0	- 1,0 0,0	- 0,2 - 0,5	- 0,2 0,5	- 0,3 0,3	- 0,3 - 0,3	- 0,1 -0,4	- 0,1 0,4	- 0,1 - 0,4	- 0,1 0,4
Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$	0,7 0,7 0,7	- 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,7 - 0,7 - 0,7	- 0,7 - 0,7 - 0,7	0,4 0,4 0,4	0,4 0,4 0,4	0,6 0,3 0,8	0,6 0,8 0,3	0,9 0,7 0,7	0,9 0,7 0,7	1,0 0,5 1,0	1,0 1,0 0,5	0,4 0,0 0,7	0,4 0,7 0,0
	a_t	f_t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	-0,9	0,2	-0,2	0,7	- 0,7	1,0	- 1,0
	$a_{lng\text{-}mid}$ $a_{lng\text{-}pt}$ $a_{lng\text{-}stb}$ $a_{lng\text{-}ctr}$	$f_{lng\text{-}mid}$ $f_{lng\text{-}pt}$ $f_{lng\text{-}stb}$ $f_{lng\text{-}ctr}$	- 0,9 - 0,9 - 0,9 - 0,9	1,0 1,0 1,0 1,0	1,0 1,0 1,0 1,0	1,0 1,0 1,0 1,0	- 0,6 - 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,6 - 0,6 - 0,6 - 0,6	- 0,3 - 0,5 0,2 - 0,3	- 0,3 0,2 - 0,5 - 0,3	- 0,9 - 0,9 - 0,6 - 0,9	- 0,9 - 0,6 - 0,9 - 0,9	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,5 0,3	- 0,7 - 0,4 - 0,2	-0,9 -0,7 -0,6	-0,9 -0,3 -0,1	1,0 0,6 0,4	1,0 0,6 0,4	0,6 1,0 0,9	0,6 -0,3 -0,3	0,6 0,9 1,0	0,6 0,2 0,1	0,4 0,8 0,8	0,4 0,2 0,2	0,2 0,7 0,7	0,2 -0,3 -0,4
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{bilge} P_{WL}	f_{ctr} f_{bilge} f_{WL}	1,0 0,5 0,3	- 0,7 - 0,4 - 0,2	- 0,9 - 0,3 - 0,1	- 0,9 - 0,7 - 0,6	1,0 0,6 0,4	1,0 0,6 0,4	0,6 - 0,3 - 0,3	0.6 1,0 0,9	0,6 0,2 0,1	0,6 0,9 1,0	0,4 0,2 0,2	0,4 0,8 0,8	0,2 - 0,3 - 0,4	0,2 0,7 0,7
где условные обозначения, как указано в *3.3, 3.4.2, 6.3.5.1* и *табл. 7.6.1, 7.6.2* и *7.6.4*.																

Таблица 7.6.8

Варианты динамической нагрузки для помещений вне района грузовых танков для судна в грузу

Место расположения на судне			**Машинное отделение и кормовая оконечность**							**Носовая оконечность**			
Направление волнения			**Попутное**	**Косое**		**Бортовое**				**Бортовое**			
Максимальный отклик			P_{ctr}	P_{WL}		a_v		a_t		a_v		a_t	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2a**	**2b**	**3a**	**3b**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**
Общая нагрузка	M_{wv}	f_{mv}	- 1,0	- 0,7	- 0,7	- 0,4	- 0,4	- 0,1	- 0,1	–	–	–	–
Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$ a_t a_{lng}	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$ f_t f_{lng}	0,6 0,6 0,6 0,0 0,8	0,9 – 0,9 0,2 0,7	0,9 0,9 – - 0,2 0,7	1,0 – 1,0 0,5 0,6	1,0 1,0 – - 0,5 0,6	0,3 – 0,4 1,0 - 0,1	0,3 0,4 – - 1,0 - 0,1	1,0 – 1,0 0,7 - 0,7	1,0 1,0 – - 0,7 - 0,7	0,3 – 0,3 1,0 - 0,1	0,3 0,3 – -1,0 -0,1

Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{WL}	f_{ctr} f_{WL}	1,0 0,5	0,8 1,0	0,8 0,2	0,7 0,8	0,7 0,3	0,2 0,5	0,2 - 0,3	1,0 1,0	1,0 0,8	0,2 0,2	0,2 0,0
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{WL}	f_{ctr} f_{WL}	1,0 0,5	0,8 0,2	0,8 1,0	0,7 0,3	0,7 0,8	0,2 - 0,3	0.2 0,5	1,0 0,8	1,0 1,0	0,2 0,0	0,2 0,2
где условные обозначения, как указано в *3.3, 6.3.5.1* и *табл. 7.6.1, 7.6.2* и *7.6.4*.													

Таблица 7.6.9

Варианты динамической нагрузки для помещений вне района грузовых танков для судна в балласте

Место расположения на судне			**Машинное отделение и кормовая оконечность**							**Носовая оконечность**			
Направление волнения			**Попутное**	**Косое**		**Бортовое**				**Бортовое**			
Максимальный отклик			P_{ctr}	P_{WL}		a_v		a_t		a_v		a_t	
Вариант динамической нагрузки			**1**	**2a**	**2b**	**3a**	**3b**	**4a**	**4b**	**5a**	**5b**	**6a**	**6b**
Общие нагрузки	M_{wv}	f_{mv}	- 1,0	- 0,3	- 0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	–	–	–	–
Ускорения	$a_{v\text{-}mid}$ $a_{v\text{-}pt}$ $a_{v\text{-}stb}$ a_t a_{lng}	$f_{v\text{-}mid}$ $f_{v\text{-}pt}$ $f_{v\text{-}stb}$ f_t f_{lng}	0,6 0,6 0,6 0,0 0,7	0,9 – 0,9 0,1 0,8	0,9 0,9 – - 0,1 0,8	1,0 – 1,0 0,6 0,2	1,0 1,0 – - 0,6 0,2	0,3 – 0,5 1,0 0,0	0,3 0,5 – - 1,0 0,0	1,0 – 1,0 0,7 - 0,3	1,0 1,0 – - 0,7 - 0,3	0,3 – 0,5 1,0 0,0	0,3 0,5 – - 1,0 0,0
Динамическое волновое давление для правого борта	P_{ctr} P_{WL}	f_{ctr} f_{WL}	1,0 0,8	0,7 1,0	0,7 0,3	0,5 0,6	0,5 0,1	0,1 0,4	0,1 - 0,3	0,6 0,7	0,6 0,3	0,1 0,3	0,1 - 0,1
Динамическое волновое давление для левого борта	P_{ctr} P_{WL}	f_{ctr} f_{WL}	1,0 0,8	0,7 0,3	0,7 1,0	0,5 0,1	0,5 0,6	0,1 - 0,3	0.1 0,4	0,6 0,3	0,6 0,7	0,1 - 0,1	0,1 0,3
где условные обозначения, как указано в *3.3, 6.3.5.1* и *табл. 7.6.1, 7.6.2* и *7.6.4*.													

РАЗДЕЛ 8. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕРАМ СВЯЗЕЙ КОРПУСА

1 Продольная прочность

1.1 Руководящая информация по загрузке

1.1.1 Общие положения

1.1.1.1 Для всех судов должна быть предоставлена руководящая информация по загрузке, включая достаточную информацию, которая позволит капитану судна поддерживать судно в пределах заданных эксплуатационных ограничений. Руководящая информация по загрузке должна включать утвержденную Инструкцию по загрузке и Компьютерную систему загрузки, соответствующие требованиям, приведенным соответственно в *1.1.2* и *1.1.3*.

1.1.1.2 Руководящая информация по загрузке должна основываться на окончательных данных о судне.

1.1.1.3 Модификации, приводящие к изменениям основных данных о судне (вес судна порожнем, распределение плавучести, вместимость или использование цистерн и т.п.) требуют соответствующего обновления и повторного утверждения Инструкции по загрузке, а впоследствии и обновления и повторного утверждения Компьютерной системы загрузки. Однако, нет необходимости повторно отправлять на утверждение новую Инструкцию по загрузке, при условии, что результатные значения осадки, изгибающие моменты в стоячей воде и перерезывающие силы не отличаются от исходных утвержденных данных более чем на 2 %.

1.1.1.4 Инструкция по загрузке должна быть подготовлена на языке, понятном для пользователей. Если этим языком является не английский язык, следует также включить перевод на английский язык. При необходимости, следует также приложить документ, содержащий перевод входных и выходных данных Компьютерной системы загрузки.

1.1.1.5 Руководящая информация по загрузке должна включать следующее предложение с тем, чтобы гарантировать осведомленность экипажа об эксплуатационных ограничениях по минимальной осадке носом:
Размеры связей корпуса одобряются для минимальной осадки носом на носовом перпендикуляре. В условиях нахождения в море, при которых вероятен слемминг, осадка носом должна быть не меньше следующих значений:
а) *... м при заполненных балластных цистернах двойного дна № ....*, или
б) *...м при пустых балластных цистернах двойного дна № ....*

1.1.2 Инструкция по загрузке

1.1.2.1 Инструкция по загрузке представляет собой документ, который:

а) описывает варианты нагрузки, на которых основаны проект и одобрение судна для эксплуатации в условиях перехода морем и при операциях в порту/водах, защищенных от волнения;
б) описывает результаты расчетов изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде и, если применимо, ограничения по крутящим и поперечным нагрузкам;
в) описывает соответствующие эксплуатационные ограничения, как указано в *1.1.2.7*.

1.1.2.2 В Инструкцию по загрузке должны быть включены, как минимум, следующие варианты нагрузки и расчетные варианты нагрузки в грузу и балласте, на основании которых определены размеры связей корпуса судна:

а) Варианты нагрузки при переходе морем, включая отход и прибытие судна:
- варианты нагрузки при загрузке однородным грузом, включая вариант при максимальной осадке по условиям прочности (варианты нагрузки при загрузке однородным грузом не должны включать заполнение сухих и чистых балластных цистерн);

- нормальный вариант нагрузки в балласте, при котором:
  - балластные цистерны могут быть заполнены полностью, частично или быть порожними. Если рассматриваются варианты с частично заполненными цистернами, должны быть учтены положения *1.1.2.5;*
  - все грузовые танки должны быть порожними, включая грузовые танки, пригодные для перевозки балласта в море;
  - гребной винт должен быть полностью заглублен; и
  - дифферент должен быть на корму и не должен превышать 0,015*L*, где *L*, как указано в *разделе 4/1.1.1;*
- вариант нагрузки с увеличенным количеством балласта, при котором:
  - все цистерны изолированного балласта в районе грузовых танков заполнены полностью или частично. Если рассматриваются варианты с частично заполненными цистернами, должны быть учтены положения *1.1.2.5;*
  - нижняя балластная цистерна (если имеется) в форпике должна быть заполнена;
  - любая балластная цистерна в корму от района грузовых танков может быть заполнена полностью, частично или быть порожней. Если рассматриваются варианты с частично заполненными цистернами, должны быть учтены положения *1.1.2.5;*
  - все грузовые танки должны быть порожними, включая грузовые танки, пригодные для балласта в море;
  - заглубление гребного винта, I/D_{prop}, должно быть, как минимум, 60 %, где I – расстояние от оси гребного винта до ватерлинии, м, и D_{prop} – диаметр гребного винта, м;
- любое заданное неравномерное распределение нагрузки;
- варианты нагрузки с высокой плотностью груза, включая максимальную расчетную плотность груза, если применимо;
- варианты нагрузки на середину перехода морем, относящиеся к мойке цистерн и другим операциям, если они значительно отличаются от вариантов нагрузки в балласте;
- варианты нагрузки, относящиеся к операции по замене балласта;

б) Варианты нагрузки в порту/водах, защищенных от волнения:

- варианты нагрузки, представляющие типовые операции полной загрузки и разгрузки;
- вариант докования в плавучем доке;
- вариант осмотра гребного винта на плаву, при котором ось гребного вала в районе гребного винта находится над ватерлинией на величину не менее $D_{prop}/4$, где D_{prop} – диаметр гребного винта;

в) Дополнительные расчетные варианты:

- расчетный вариант нагрузки в балласте, при котором все цистерны изолированного балласта в районе грузовых танков заполнены, а все другие цистерны порожние, включая топливные цистерны и цистерны пресной воды.

Рекомендации:

Расчетный вариант, указанный в *в*), относится к цистернам изолированного балласта согласно ИМО 73/78, при условии, что соответствующий случай в Инструкции по загрузке включает только балласт в цистернах изолированного балласта в районе грузовых танков.

1.1.2.3 Расчет вариантов нагрузки на отход должен быть основан на заполненных цистернах в соответствии с применимыми правилами по остойчивости для заполнения цистерн. При этом, принимается, что топливные цистерны заполнены не менее чем на 95 %, а другие судовые запасы должны быть приняты в объеме 100 %. Варианты нагрузки на прибытие должны быть основаны на объеме топлива, пресной воды и запасов в количестве 10 % от максимальной вместимости по данным запасам.

1.1.2.4 Если объем и расположение судовых запасов на любом этапе перехода морем считаются более неблагоприятными по сравнению с указанными в *1.1.2.3*, расчеты для таких промежуточных вариантов нагрузки также должны быть представлены на одобрение.

1.1.2.5 Варианты нагрузки в балласте, включающие частично заполненные пиковые и/или другие балластные цистерны для любого состояния – на отход, прибытие или промежуточное состояние, не допускаются к использованию в качестве расчетных, если иные уровни заполнения приведут к более высоким уровням напряжений. Однако частичное заполнение таких цистерн для всех уровней заполнения от порожнего до полного допускается в эксплуатации при условии, что уровни напряжений ниже критериев приемлемости по напряжениям и потере устойчивости. Для расчетных целей эти критерии будут удовлетворены, если уровни напряжений ниже критериев приемлемости по напряжениям и потере устойчивости для случаев нагрузки с заполненными и/или порожними соответствующими цистернами. Соответствующие варианты нагрузки с заполненными или порожними цистернами должны рассматриваться как расчетные при расчете изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде, но от них не требуется соответствия требованиям к заглублению гребного винта и дифференту, указанным в *1.1.2.2 а)*.

1.1.2.6 При вариантах нагрузки в грузу частичное заполнение пиковых цистерн для всех уровней заполнения от порожнего до полного не допускается, если уровни суммарных напряжений превышают критерии приемлемости по напряжениям и потере устойчивости. Для расчетных целей эти критерии будут удовлетворены, если уровни напряжений будут ниже критериев приемлемости по напряжениям и потере устойчивости для вариантов нагрузки с соответствующими заполненными и/или порожними цистернами. Соответствующие варианты нагрузки с заполненными или порожними цистернами должны рассматриваться как расчетные при расчете изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде, но от них не требуется соответствия требованиям к заглублению гребного винта и дифференту.

1.1.2.7 Инструкция по загрузке должна включать проектную основу и эксплуатационные ограничения, на которых основано одобрение размеров связей корпуса судна. Информация, содержащаяся в *табл. 8.1.1*, должна быть включена в Инструкцию по загрузке.

1.1.2.8 Одобрение размеров связей корпуса судна основано на установленных Правилами вариантах нагрузки, приведенных в Инструкции по загрузке.

Таблица 8.1.1

Расчетные параметры

Параметр
Допустимые предельные значения изгибающих моментов на тихой воде (переход морем и работа в порту/ водах, защищенных от волнения)
Допустимые предельные значения перерезывающих сил на тихой воде (переход морем и работа в порту/ водах, защищенных от волнения)
Максимальная осадка по условиям прочности, T_{sc}
Расчетная минимальная осадка в балласте на миделе, T_{bal}
Расчетная осадка носом при слемминге при заполненных носовых балластных цистернах двойного дна, $T_{FP\text{-}full}$
Расчетная осадка носом при слемминге при порожних носовых балластных цистернах двойного дна, $T_{FP\text{-}mt}$
Максимальная допустимая плотность груза
Максимальная плотность груза при любом варианте нагрузки в Инструкции по загрузке
Описание операций замены балласта, включая любые ограничения
Расчетная скорость

1.1.2.9 В Инструкцию по загрузке следует включить следующие дополнительные варианты нагрузки, если судно специально одобрено и предназначено для эксплуатации в таких условиях:

а) варианты нагрузки в балласте при переходе морем, включая водяной балласт в одном или более грузовых танках, которые предназначены для использования в аварийных ситуациях в соответствии с правилом 13 Конвенции МАРПОЛ. (Судно одобрено для варианта нагрузки А7 *табл. В.2.3* или В7 *табл. В.2.4*);

б) варианты нагрузки в грузу при переходе морем, в которых статическая нагрузка нетто на двойное дно, направленная вверх, превышает нагрузку, создаваемую сочетанием порожнего грузового танка и средней осадки судна $0{,}9T_{sc}$;

в) варианты нагрузки в грузу при переходе морем с бортовыми грузовыми танками, заполненными менее чем на 25 % в сочетании со средней осадкой судна, превышающей $0{,}9T_{sc}$;

г) варианты нагрузки в грузу при переходе морем, в которых статическая нагрузка нетто на двойное дно, направленная вниз, превышает нагрузку, создаваемую сочетанием заполненного грузового танка при плотности груза 1,025 т/м^3 и средней осадки судна, равной $0{,}6T_{sc}$;

д) для судов, конструкция которых предусматривает распорки в центральном грузовом танке: варианты нагрузки в грузу при переходе морем с несимметричной нагрузкой, при которой разность в уровне заполнения между бортовым и смежным центральным грузовым танком превышает 25 % высоты заполнения бортового грузового танка. (Судно одобрено для варианта нагрузки А7 *табл. В.2.3* или В7 *табл. В.2.4).*

1.1.2.10 Настоящий Подраздел не предусматривает отказ от любых других вариантов нагрузки для включения в инструкцию по загрузке и замену каким-либо образом требуемых Инструкции по загрузке/прибора контроля загрузки.

1.1.2.11 В реальной эксплуатации нефтеналивное судно может иметь нагрузку, отличную от предусмотренной вариантами расчетной нагрузки в Инструкции по загрузке при условии, что не нарушаются ограничения по общей и местной прочности в отношении Инструкции по загрузке и прибора контроля загрузки на борту судна, и применимые требования к остойчивости.

1.1.3 Компьютерная система загрузки

1.1.3.1 Компьютерная система загрузки должна представлять собой систему, которая, если не указано иное, может быстро и легко подтвердить превышение каких-либо эксплуатационных ограничений для любого варианта нагрузки.

1.1.3.2 Компьютерная система загрузки должна одобряться на основании правил отдельного классификационного общества.

1.1.3.3 Компьютерная система загрузки должна позволять воспроизводить конкретный вариант нагрузки и подтверждать, что такой вариант соответствует всем эксплуатационным ограничениям, заданным в *1.1.2.2*, и выдавать диаграммы, включая входные и выходные данные.

1.1.3.4 Если любое из эксплуатационных ограничений не проверено, пользователя следует должным образом проинформировать при использовании системы, а также предоставить ему диаграммы, чтобы каждый из пунктов проверялся другими способами. Компьютерная система загрузки должна, как минимум, проверить, выполняются ли следующие требования:

а) ограничения по осадке;

б) изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде проверяются в соответствующих местах/точках считывания.

1.1.3.5 Окончательные условия испытаний загрузочного компьютера должны основываться на условиях, приведенных в окончательной Инструкции по загрузке. Условия испытания должны быть одобрены; перерезывающие силы и изгибающие моменты, рассчитываемые компьютерной системой загрузки, в каждой точке считывания должны находиться в диапазоне $0{,}02Q_{sw\text{-}perm}$ или $0{,}02M_{sw\text{-}perm}$ от результатов, приведенных в Инструкции по загрузке, где $Q_{sw\text{-}perm}$ и $M_{sw\text{-}perm}$ – заданные допустимые значения перерезывающей силы и изгибающего момента в каждой точке считывания соответственно.

1.1.3.6 До приемки компьютерной системы загрузки инспектору должны быть предъявлены все соответствующие аспекты работы компьютера, включая, но не ограничиваясь следующими пунктами:

а) подтверждение того, что были использованы окончательные данные о судне;
б) проверка и подтверждение того, что все соответствующие предельные значения для всех точек считывания данных верны;
в) проверка того, что эксплуатация системы после ее установки на борту судна соответствует одобренным условиям испытаний;
г) проверка того, что на борту имеются одобренные условия испытаний;
д) проверка того, что руководство по эксплуатации имеется на борту судна.

1.2 Прочность корпуса на изгиб

1.2.1 Общие положения

1.2.1.1 Момент сопротивления сечения нетто вертикального эквивалентного бруса, $Z_{v\text{-}net50}$, должен равняться или быть более значений, указанных в *1.2.2.2* и *1.2.3.2*. Момент инерции нетто вертикального эквивалентного бруса, $I_{v\text{-}net50}$, как указано в *разделе 4/2.6.1.1*, должен равняться или быть более значений, указанных в *1.2.2.1*.

1.2.1.2 Размеры непрерывных продольных связей корпуса, исходя из требований к моменту инерции и моменту сопротивления сечения, указанных в *1.2.2.1* и *1.2.2.2*, должны поддерживаться в пределах 0,4L на миделе.

1.2.1.3 Требования к моменту сопротивления сечения эквивалентного бруса, указанные в *1.2.3*, применимы по всей длине эквивалентного бруса от кормового до носового перпендикуляра.

1.2.1.4 Конструктивные элементы, включенные в момент сопротивления сечения эквивалентного бруса, должны соответствовать критериям устойчивости, указанным в *1.4*.

1.2.2 Минимальные требования

1.2.2.1 В поперечном сечении миделя судна момент инерции нетто вертикального эквивалентного бруса относительно горизонтальной нейтральной оси, $I_{v\text{-}net50}$, должен быть не менее минимального момента инерции эквивалентного бруса, $I_{v\text{-}min}$, требуемого согласно Правилам, и должен определяться по формуле:

$$I_{v\text{-}min} = 2{,}7\,C_{wv}L^3B(C_b + 0{,}7) \times 10^{-8} \quad \text{м}^4,$$

где C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *табл. 8.1.2;*
L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*
C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*; но не менее 0,70.

Таблица 8.1.2

Волновой коэффициент C_{wv}

Длина согласно Правилам	C_{wv}
$150 \le L \le 300$	$10{,}75 - [(300 - L) / 100]^{3/2}$
$300 < L < 350$	10,75
$350 \le L \le 500$	$10{,}75 - [(L - 350) / 150]^{3/2}$

1.2.2.2 В поперечном сечении миделя судна момент сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса, $Z_{v\text{-}min}$, на палубе и киле должен быть не менее минимального момента сопротивления сечения эквивалентного бруса, $Z_{v\text{-}min}$, требуемого согласно Правилам, и должен определяться по формуле:

$$Z_{v\text{-}min} = 0{,}9kC_{wv}L^2B(C_b + 0{,}7) \times 10^{-6} \quad \text{м}^3,$$

где k коэффициент стали повышенной прочности, как указано в *разделе 6/1.1.4;*
C_{wv} волновой коэффициент, как указано в *табл. 8.1.2;*
L длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*
C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.11.1*, но не менее 0,70.

1.2.2.3 Момент сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса на киле, $Z_{v\text{-}net50\text{-}kl}$, должен рассчитываться в соответствии с *разделом 4/2.6.1.2* , при этом z берется на киле.

1.2.2.4 Момент сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса на палубе, $Z_{v\text{-}net50\text{-}dk}$, должен рассчитываться в соответствии с *разделом 4/2.6.1.2*, при этом z берется по действительной высоте палубы, см. *1.2.2.5*.

1.2.2.5 Эффективная высота палубы от горизонтальной нейтральной оси для момента сопротивления сечения эквивалентного бруса, $z_{dk\text{-}eff}$, должна определяться по следующей формуле:

$$z_{dk\text{-}eff} = z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50} \quad \text{м},$$

в случае, когда над линией, проведенной от общей линии палубы в сторону борта до положения $(z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50})/0{,}9$ от нейтральной оси в диаметральной плоскости, отсутствуют продольные элементы конструкции, используется следующая формула:

$$z_{dk\text{-}eff} = (z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50})(0{,}9 + 0{,}2y_{cl}/B) \quad \text{м},$$

в случае, когда продольные элементы конструкции располагаются над условной линией, проведенной от общей линии палубы в сторону борта до положения $(z_{dk\text{-}side} - z_{NA\text{-}net50})/0{,}9$ от нейтральной оси в диаметральной плоскости,

где z_y расстояние от основной линии до верхней кромки непрерывного набора на расстоянии y от диаметральной плоскости, м, при наибольшем значении, $z_{dk\text{-}eff}$, см. *рис. 8.1.1;*
$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от основной линии до горизонтальной нейтральной оси, м, см. *рис. 8.1.1;*
y_{cl} расстояние от верхней кромки непрерывного набора до диаметральной плоскости судна, м, при наибольшем значении, $z_{dk\text{-}eff}$, см. *рис. 8.1.1;*
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*
$z_{dk\text{-}side}$ расстояние от основной линии до общей линии палубы по борту, м, см. *рис. 8.1.1.*

1.2.3 Требования к эквивалентному брусу касательно общего расчетного изгибающего момента

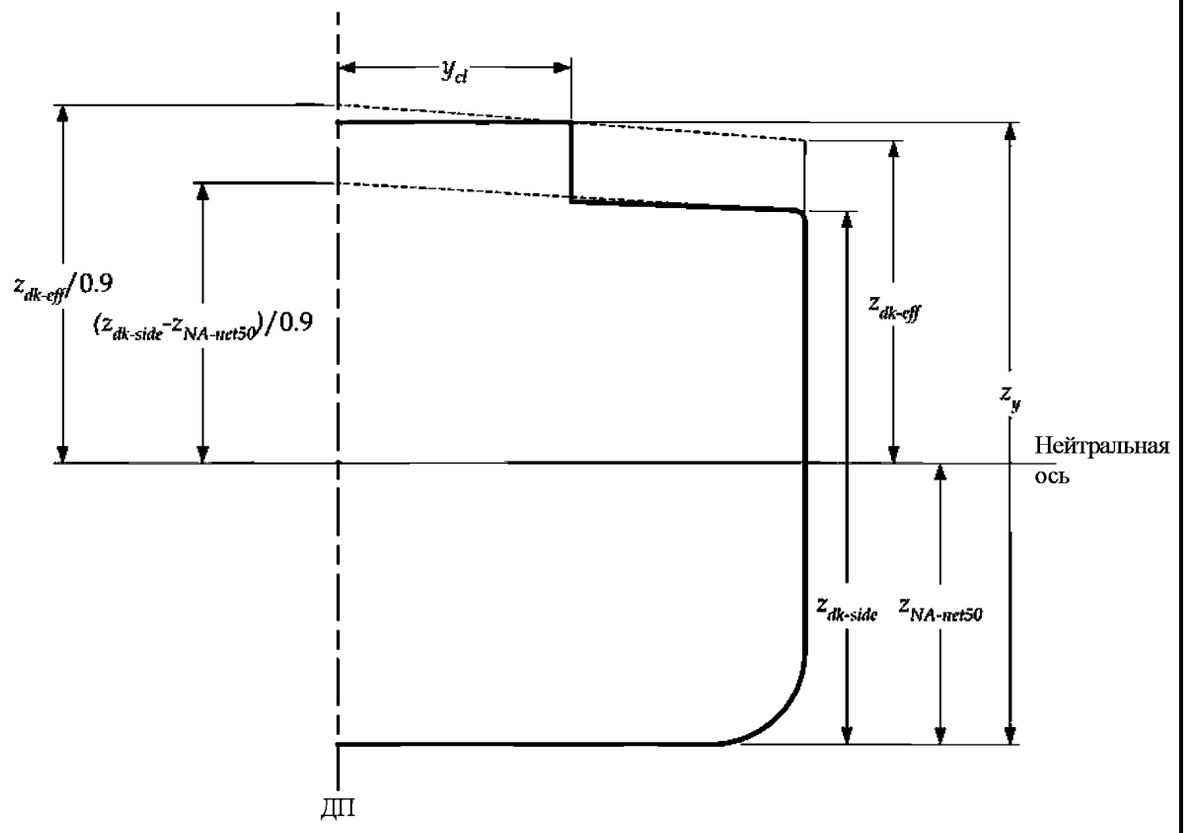
1.2.3.1 Требование к моменту сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса, как указано в *1.2.3.2*, должно оцениваться как для условий прогиба, так и для условий перегиба.

1.2.3.2 Момент сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса относительно горизонтальной нейтральной оси, $Z_{v\text{-}net50}$, должен составлять не менее требуемого Правилами момента сопротивления сечения эквивалентного бруса, $Z_{v\text{-}req}$, исходя из допустимого изгибающего момента на тихой воде и расчетного волнового изгибающего момента, определяемого по формуле:

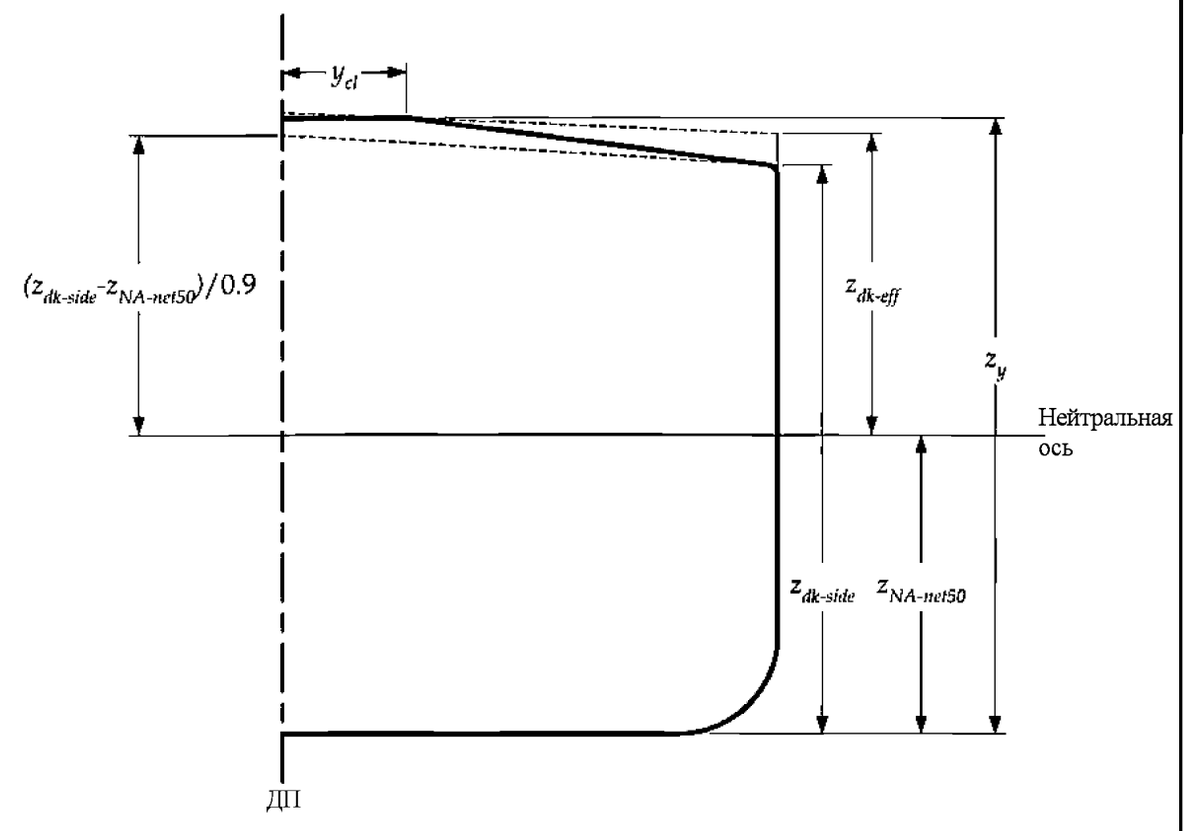
$$Z_{v\text{-}req} = \frac{|M_{sw\text{-}perm} + M_{wv\text{-}v}|}{\sigma_{perm}} 10^{-3} \quad \text{м}^3,$$

где $M_{sw\text{-}perm}$ допустимый изгибающий момент при прогибе или перегибе эквивалентного бруса на тихой воде, как указано в *табл. 8.1.3*, кНм;
$M_{wv\text{-}v}$ вертикальный волновой изгибающий момент при прогибе или перегибе, кНм, как указано в *табл. 8.1.3;*
σ_{perm} допустимое напряжение от продольного изгиба эквивалентного бруса, как указано в *табл. 8.1.3*, Н/мм^2.

Рис. 8.1.1
Положение палубы при расчете момента сопротивления сечения



а) Ящичная палуба или непрерывный продольный комингс



б) Судно с большой погибью бимса

Таблица 8.1.3

Нагрузки и соответствующие критерии приемлемости для оценки изгиба эквивалентного бруса

Расчетное сочетание нагрузки	**Изгибающий момент на тихой воде,** $M_{sw\text{-}perm}$	**Волновой изгибающий момент,** $M_{wv\text{-}v}$	**Допустимое напряжение от продольного изгиба эквивалентного бруса,** σ_{perm} (1)	
(S)	$M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$	0	143/k	в пределах 0,4L по миделю судна
			105/k	на 0,9L и в нос от кормового перпендикуляра и на 0,1L и в корму от кормового перпендикуляра
(S+D)	$M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$	$M_{wv\text{-}v}$	190/k	в пределах 0,4L по миделю судна
			140/k	на 0,9L и в нос от кормового перпендикуляра и на 0,1L и в корму от кормового перпендикуляра

где $M_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ допустимый изгибающий момент при прогибе и перегибе эквивалентного бруса для операций в порту/водах, защищенных от волнения, кНм, как указано в *разделе 7/2.1.1;*

$M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимый изгибающий момент при прогибе и перегибе эквивалентного бруса для операций при переходе морем, кНм, как указано в *разделе 7/2.1.1;*

$M_{wv\text{-}v}$ вертикальные волновые изгибающие моменты при прогибе и перегибе, кНм, как указано в *разделе 7/3.4.1;*

$M_{wv\text{-}v}$ должно приниматься равным:

$M_{wv\text{-}hog}$ для оценки вертикального волнового изгибающего момента при перегибе;

$M_{wv\text{-}sag}$ для оценки вертикального волнового изгибающего момента при прогибе;

k коэффициент стали повышенной прочности, как указано в *разделе 6/1.1.4.*

Примечание

1. σ_{perm} следует линейно интерполировать для данных значений.

1.3 Прочность эквивалентного бруса при сдвиге

1.3.1 Общие положения

1.3.1.1 Требования в отношении прочности эквивалентного бруса при сдвиге применяются по всей длине эквивалентного бруса от кормового до носового перпендикуляра.

1.3.2 Оценка прочности эквивалентного бруса при сдвиге

1.3.2.1 Прочность нетто эквивалентного бруса при сдвиге, $Q_{v\text{-}net50}$, как указано в *1.3.2.2*, должна быть не менее требуемой Правилами вертикальной перерезывающей силы, $Q_{v\text{-}req}$, в соответствии с формулой:

$$Q_{v\text{-}req} = Q_{sw\text{-}perm} + Q_{wv} \quad \text{кН},$$

где $Q_{sw\text{-}perm}$ допустимая положительная или отрицательная перерезывающая сила эквивалентного бруса на тихой воде, как указано в *разделе 7/2.1.3*, кН;

Q_{wv} вертикальная волновая положительная или отрицательная перерезывающая сила, как указано в *разделе 7/3.4.3*, кН.

1.3.2.2 Допустимые положительные и отрицательные перерезывающие силы при переходе морем и операциях в порту/водах, защищенных от воленения, $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ и $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$, должны удовлетворять следующим условиям:

$$Q_{sw\text{-}perm} \leq Q_{v\text{-}net50} - Q_{wv\text{-}pos} \quad \text{кН}$$

для максимально допустимой положительной перерезывающей силы,

$$Q_{sw\text{-}perm} \le Q_{v\text{-}net50} + Q_{wv\text{-}neg} \quad \text{кН}$$

для минимально допустимой отрицательной перерезывающей силы,

где $Q_{sw\text{-}perm}$ допустимая перерезывающая сила эквивалентного бруса на тихой воде, как указано в *табл. 8.1.4,* кН;

$Q_{v\text{-}net50}$ прочность нетто эквивалентного бруса при вертикальной перерезывающей силе, значение которой должно быть принято как минимальное для всех листовых элементов, которые повышают предел прочности эквивалентного бруса при сдвиге

$$= \frac{\tau_{ij\text{-}perm}\, t_{ij\text{-}net50}}{1000\, q_v} \quad \text{кН};$$

$\tau_{ij\text{-}perm}$ допустимое касательное напряжение эквивалентного бруса, τ_{perm}, как указано в *табл. 8.1.4*, Н/мм^2, для листа *ij;*

$Q_{wv\text{-}pos}$ положительная вертикальная волновая перерезывающая сила, как указано в *табл. 8.1.4;*

$Q_{wv\text{-}neg}$ отрицательная вертикальная волновая перерезывающая сила, как указано в *табл. 8.1.4;*

$t_{ij\text{-}net50}$ эквивалентная толщина нетто t_{net50} для листа *ij*, мм. Для продольных переборок между грузовыми танками, t_{net50}, следует принять равной $t_{sfc\text{-}net50}$ и $t_{str\text{-}k}$ соответственно, см. *1.3.3.1* и *1.3.4.1;*

t_{net50} толщина нетто листа, мм

$= t_{grs} - 0{,}5t_{corr}$;

t_{grs} полная толщина листа, мм. Полная толщина листа для гофрированных переборок должна приниматься равной минимальному значению $t_{w\text{-}grs}$ и $t_{f\text{-}grs}$, мм;

$t_{w\text{-}grs}$ полная толщина рамной стойки гофра, мм;

$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина фланца гофра, мм;

t_{corr} прибавка на коррозию, как указано в *разделе 6/3.2;*

q_v поток с относительным сдвигом на мм для рассматриваемого листа на основании размеров связей корпуса нетто

$$= f_i \left(\frac{q_{1\text{-}net50}}{I_{v\text{-}net50}} \right) 10^{-9} \quad \text{мм}^{-1};$$

fi коэффициент распределения перерезывающей силы для основных принимаемых в расчет продольных эквивалентных брусьев корпуса, воспринимающих усилие изгиба. Для стандартных конфигураций конструкции f_i соответствует *рис. 8.1.2;*

$q_{1\text{-}net50}$ первый статический момент площади сечения относительно горизонтальной нейтральной оси элементов между вертикальным уровнем, на котором определяется перерезывающая сила, и вертикальной кромкой элементов, воспринимающих перерезывающую силу, см^3. Первый статический момент площади сечения должен основываться на толщине нетто t_{net50};

$I_{v\text{-}net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса, м^4, как указано в *разделе 4/2.6.1.1.*

Таблица 8.1.4

Нагрузки и соответствующие критерии приемлемости для оценки перерезывающей силы эквивалентного бруса

Расчетное сочетание нагрузки	**Перерезывающая сила на тихой воде, $Q_{sw\text{-}perm}$**	**Вертикальная волновая перерезывающая сила, Q_{wv}**	**Допустимое касательное напряжение, τ_{perm}**
Операции в порту/ водах, защищенных от волнения (S)	$Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$	0	105/*k* для листа *ij*
Операции при переходе морем (S+D)	$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$	Q_{wv}	120/*k* для листа *ij*

где $Q_{sw\text{-}perm\text{-}harb}$ допустимая положительная или отрицательная перерезывающая сила эквивалентного бруса на тихой воде при эксплуатации в порту/водах, защищенных от волнения, как указано в *разделе 7/2.1.3;*

$Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимая положительная или отрицательная перерезывающая сила эквивалентного бруса на тихой воде при эксплуатации в условиях перехода морем, как указано в *разделе 7/2.1.3;*

Q_{wv} положительная или отрицательная вертикальная волновая перерезывающая сила, кН, как указано в *разделе 7/3.4.3*. Q_{vw} должна приниматься равной:

$Q_{wv\text{-}pos}$ для оценки относительно максимальной положительной допустимой перерезывающей силы на тихой воде;

$Q_{wv\text{-}neg}$ для оценки относительно минимальной отрицательной допустимой перерезывающей силы на тихой воде;

лист *ij* для каждого листа *j* индекс *i* обозначает конструктивный элемент, частью которого является этот лист;

k коэффициент стали повышенной прочности, как указано в *разделе 6/1.1.4.*

1.3.3 Поправка на перерезывающую силу для продольных переборок между грузовыми танками

1.3.3.1 Для продольных переборок, расположенных между грузовыми танками толщина обшивки нетто, $t_{sfc\text{-}net50}$ для листа *ij*, используемая для расчета усилия сдвига эквивалентного бруса корпуса судна, $Q_{v\text{-}net50}$, должна корректироваться с учетом местного распределения перерезывающей силы и рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{sfc\text{-}net50} = t_{grs} - 0{,}5t_{corr} - t_{\Delta} \text{ мм},$$

где t_{grs} полная толщина листа, мм;
t_{corr} прибавка на коррозию, мм, как указано в *разделе 6/3.2;*
t_{Δ} вычитание толщины для листа *ij*, мм, как указано в *1.3.3.2.*

1.3.3.2 Предполагается, что вертикальное распределение уменьшения толщины для поправки на перерезывающую силу имеет треугольную форму, как показано на *рис. 8.1.3.* Вычитание толщины, t_{Δ}, для учета поправки на перерезывающую силу рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\Delta} = \frac{\delta Q_3}{h_{blk}\tau_{ij\text{-}perm}}\left(1 - \frac{x_{blk}}{0{,}5\,l_{tk}}\right)\left(2 - \frac{2(z_p - h_{db})}{h_{blk}}\right) \text{ мм},$$

где δQ_3 поправка на перерезывающую силу для продольной переборки, как указано в *1.3.3.3* и *1.3.3.5* для судов с одной или двумя продольными переборками соответственно, кН;
l_{tk} длина грузового танка, м;
h_{blk} высота продольной переборки, м, определенная как расстояние от второго дна до палубы наверху переборки, как показано на *рис. 8.1.3;*
x_{blk} минимальное продольное расстояние от рассматриваемого сечения до ближайшей поперечной переборки грузового танка, м. Данное значение должно быть положительным и не более $0{,}5l_{tk}$;
z_p расстояние по вертикали от нижнего края листа *ij* до линии основания, м;
h_{db} высота двойного дна, м, как показано на *рис. 8.1.3;*
$\tau_{ij\text{-}perm}$ допустимое напряжение сдвига эквивалентного бруса корпуса, τ_{perm}, Н/мм^2, для листа *ij;* = 120/*kij;*
k_{ij} коэффициент стали повышенной прочности, *k*, для листа *ij,* как указано в *разделе 6/1.1.4.*

1.3.3.3 Для судов с диаметральной переборкой между грузовыми танками поправка на перерезывающую силу в месте прохождения поперечной переборки δQ_3 должна приниматься равной:

$$\delta Q_3 = 0{,}5\,K_3 F_{db} \text{ кН},$$

где K_3 поправочный коэффициент, как указано в *1.3.3.4;*
F_{db} максимальная результирующая сила, действующая на двойное дно танка, кН, как указано в *1.3.3.7.*

1.3.3.4 Для судов с диаметральной переборкой между грузовыми танками поправочный коэффициент K_3 в месте прохождения поперечных переборок должен приниматься равным:

$$K_3 = \left[0{,}40\left(1 - \frac{1}{1+n}\right) - f_3\right],$$

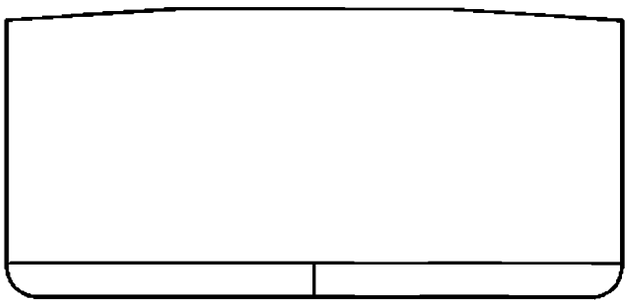
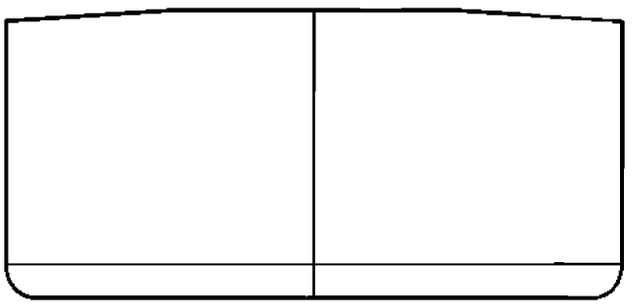
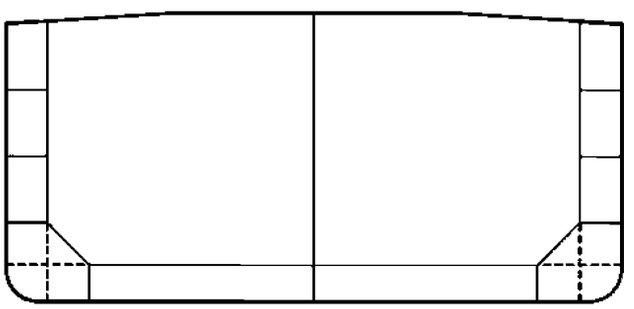
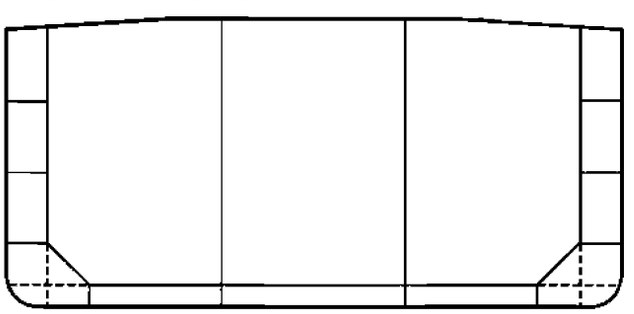
где n число флоров между поперечными переборками, за исключением флора, находящегося в одной плоскости с отбойной переборкой;
f_3 коэффициент распределения перерезывающей силы, см. *рис. 8.1.2.*

1.3.3.5 Для судов с двумя продольными переборками между грузовыми танками поправка на перерезывающую силу δQ_3 должна приниматься равной:

$$\delta Q_3 = 0{,}5\,K_3 F_{db} \text{ кН},$$

где K_3 поправочный коэффициент, как указано в *1.3.3.6;*
F_{db} максимальная результирующая сила, действующая на двойное дно танка, кН, как указано в *1.3.3.7.*

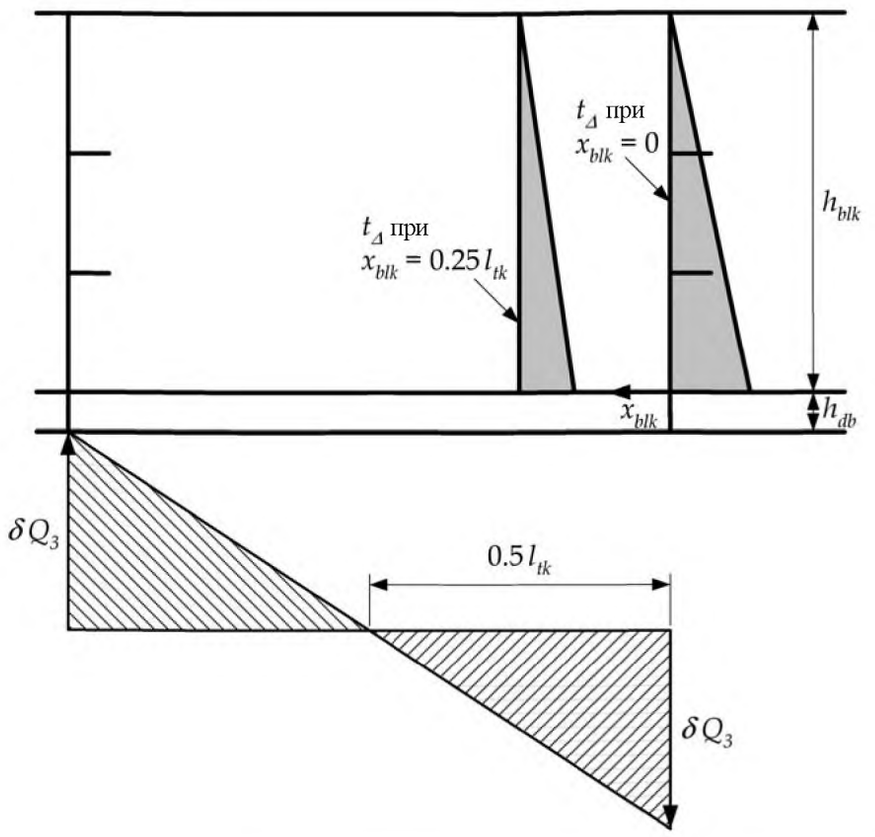
Рис. 8.1.2
Коэффициенты распределения перерезывающей силы

Обводы корпуса	**Коэффициенты f_i**
Внешний район грузовых танков (продольная переборка отсутствует) 	Бортовая обшивка $f_1 = 0{,}5$
Внешний район грузовых танков (переборка в диаметральной плоскости) 	Бортовая обшивка $f_1 = 0{,}231 + 0{,}076\, A_{1\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Продольная переборка $f_3 = 0{,}538 - 0{,}152\, A_{1\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$
Одна переборка в диаметральной плоскости 	Бортовая обшивка $f_1 = 0{,}055 + 0{,}097 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0{,}020 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Внутренний корпус $f_2 = 0{,}193 - 0{,}059\, A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0{,}058\, A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Продольная переборка $f_3 = 0{,}504 - 0{,}076 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} - 0{,}156 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$
Две продольные переборки 	Бортовая обшивка $f_1 = 0{,}028 + 0{,}087 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0{,}023 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Внутренний корпус $f_2 = 0{,}119 - 0{,}038\, A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0{,}072 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Продольная переборка $f_3 = 0{,}353 - 0{,}049 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} - 0{,}095 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$

где i индекс для рассматриваемого элемента конструкции:
1 – для бортовой обшивки;
2 – для внутреннего корпуса;
3 – для продольной переборки;

$A_{i\text{-}net50}$ площадь нетто, как указано в *разделе 4/2.6.4*, основанная на вычитании $0{,}5t_{corr}$, конструктивного элемента i по одной стороне рассматриваемой секции. Площадь $A_{3\text{-}net50}$ для переборки в диаметральной плоскости уменьшать не следует для симметрии в диаметральной плоскости.

Рис. 8.1.3
Поправка на перерезывающую силу для продольных переборок



1.3.3.6 Для судов с двумя продольными переборками между грузовыми танками поправочный коэффициент K_3 в месте прохождения поперечной переборки должен рассчитываться по следующей формуле:

$$K_3 = \left[0{,}5\left(1 - \frac{1}{1+n}\right)\left(1 - \frac{1}{r+1}\right) - f_3\right],$$

где n число флоров между поперечными переборками, за исключением флора, находящегося в одной плоскости с отбойной переборкой

r соотношение частичной нагрузки, воспринимаемой отбойными переборками и флорами от продольной переборки до двойного борта, рассчитываемое по следующей формуле:

$$r = \frac{1}{\left[\dfrac{A_{3\text{-}net50}}{A_{1\text{-}net50} + A_{2\text{-}net50}} + \dfrac{2\,b_{80}(n_s + 1)}{l_{tk}(n_s A_{T\text{-}net50} + R)}\right]}.$$

Примечание

для предварительных расчетов r может быть принято равным 0,5;

l_{tk} длина грузового танка между поперечными переборками в бортовом грузовом танке, м;

b_{80} 80 % расстояния от продольной переборки до внутреннего борта, м, на половине длины танка;

$A_{T\text{-}net50}$ площадь сдвига нетто поперечной отбойной переборки, включая находящийся непосредственно под ней флор двойного дна, в бортовом грузовом танке, см^2, взятая как наименьшая площадь в вертикальном сечении. $A_{T\text{-}net50}$ рассчитывается при толщине нетто, определяемой как $t_{grs} - 0{,}5t_{corr}$;

$A_{1\text{-}net50}$ площадь нетто, как показано на *рис. 8.1.2*, м^2;

$A_{2\text{-}net50}$ площадь нетто, как показано на *рис. 8.1.2*, м^2;

$A_{3\text{-}net50}$ площадь нетто, как показано на *рис. 8.1.2*, м^2;

F_3 коэффициент распределения перерезывающей силы, как показано на *рис. 8.1.2;*

n_S количество отбойных переборок в бортовом грузовом танке;

R общая эффективность поперечных опор для балок основного набора в бортовом танке

$$R = \left(\frac{n}{2} - 1\right)\frac{A_{Q-net50}}{\gamma} \text{ см}^2;$$

$$= 1 + \frac{300\, b_{80}^2 A_{Q-net50}}{I_{psm-net50}} \text{ см}^2;$$

$A_{Q\text{-}net50}$ площадь сдвига нетто, см^2, поперечных опор для балок основного набора в бортовом грузовом танке, принимаемая как сумма площадей сдвига нетто флора, распорок и рамных бимсов палубы. $A_{Q\text{-}net50}$ рассчитывается с использованием толщины нетто, определяемой как $t_{grs} - 0{,}5t_{corr}$. Площадь сдвига нетто рассчитывается на половине диапазона длины/ширины элементов;

$I_{psm\text{-}net50}$ момент инерции нетто для опор балок основного набора, см^4, поперечных опор для балок основного набора в бортовом грузовом танке, взятый как сумма моментов инерции рамных бимсов и распорок. Рассчитывается с использованием толщины нетто, определяемой как $t_{grs} - 0{,}5t_{corr}$. Момент инерции нетто рассчитывается на половине диапазона длины/ширины элемента, включая ширину прикрепленного листового элемента, равную шпации балок основного набора;

t_{grs} полная толщина листа, мм;

t_{corr} прибавка на коррозию, мм, как указано в *разделе 6/3.2.*

1.3.3.7 Максимальная результирующая сила, действующая на двойное дно танка, F_{db}, рассчитывается по следующей формуле:

$$F_{db} = g\left|W_{CT} + C_{WCBT} - \rho_{sw} b_2 l_{tk} T_{mean}\right| \text{ кН},$$

где W_{CT} вес груза, т, как указано в *табл. 8.1.5;*

W_{CWBT} вес балласта, т, как указано в *табл. 8.1.5;*

b_2 ширина, м, как указано в *табл. 8.1.5;*

l_{tk} длина грузового танка между водонепроницаемыми поперечными переборками в бортовом грузовом танке, м;

T_{mean} осадка на половине длины танка для рассматриваемого варианта нагрузки, м;

g ускорение под действием силы тяжести, 9,81 м/с^2;

ρ_{sw} плотность морской воды, 1,025 т/м^3.

Таблица 8.1.5

Расчетные условия для двойного дна

Конфигурация конструкции	W_{CT}	W_{CWBT}	b_2
Суда с одной продольной переборкой	Вес груза в грузовых танках, т, при минимальной плотности 1,025 т/м^3	Вес балласта между внутренними левым и правым бортами, т	Максимальная ширина между внутренними левым и правым бортами на половине длины танка, м, как показано на *рис. 8.1.4*
Суда с двумя продольными переборками	Вес груза в центре грузового танка, т, при минимальной плотности 1,025 т/м^3	Вес балласта ниже центрального грузового танка, т	Максимальная ширина центрального грузового танка на половине длины танка, м, как показано на *рис. 8.1.4*

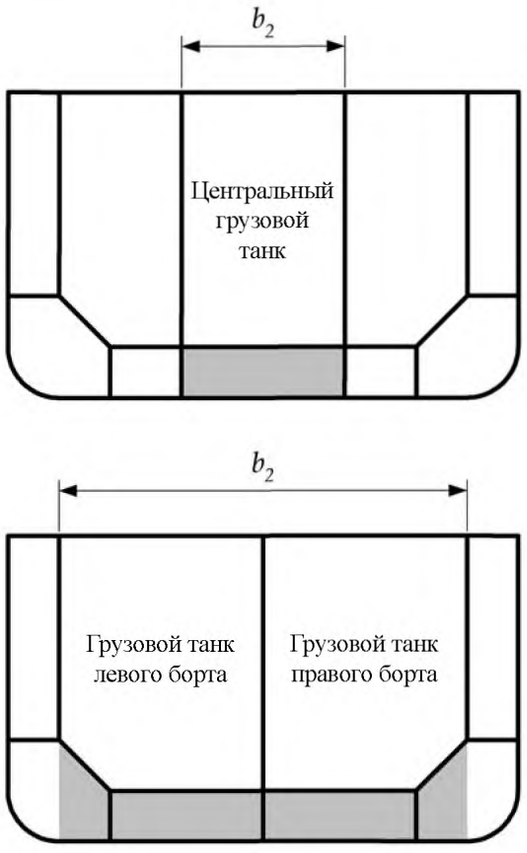
1.3.3.8 Максимальная результирующая сила, действующая на двойное дно танка, F_{db}, ни в каком случае не может быть менее минимального значения, приведенного в требованиях Правил по условиям минимальности, указанным в *табл. 8.1.6.*

Таблица 8.1.6

Условия минимальности для двойного дна согласно Правилам

Конфигурация конструкции	Положительная/отрицательная сила, F_{db}	Условие минимальности
Суда с одной продольной переборкой	Максимальная положительная вертикальная сила нетто F_{db+}	$0{,}9T_{sc}$ и пустые грузовые танки и балластные цистерны
	Максимальная отрицательная вертикальная сила нетто F_{db-}	$0{,}6T_{sc}$ и полные грузовые танки и пустые балластные цистерны
Суда с двумя продольными переборками	Максимальная положительная вертикальная сила нетто F_{db+}	$0{,}9T_{sc}$ и пустые грузовые танки и балластные цистерны
	Максимальная отрицательная вертикальная сила нетто F_{db-}	$0{,}6T_{sc}$ и полный центральный грузовой танк и пустые балластные цистерны

Рис. 8.1.4
Ширина танка, учитываемая для различных типов нефтеналивных судов



1.3.4 Поправка на перерезывающую силу из-за нагрузок, возникающих от стрингеров поперечных переборок

1.3.4.1 В месте расположения соединений стрингеров поперечных переборок в областях, определенных на *рис. 8.1.6*, эквивалентная толщина нетто листовых элементов, используемая для расчета прочности эквивалентного бруса на сдвиг, $t_{str\text{-}k}$, где индекс k относится к идентификационному номеру стрингера, не должна быть более чем:

$$t_{str-k} = t_{sfc-net50}\left(1 - \frac{\tau_{str}}{\tau_{ij-perm}}\right) \text{ мм,}$$

где $t_{sfc-net50}$ эффективная толщина обшивки, мм, как указано в *1.3.3.1*, рассчитанная на поперечной переборке для высоты, соответствующей уровню стрингера;

$\tau_{ij-perm}$ допустимое напряжение сдвига эквивалентного бруса τ_{perm} для листового элемента *ij*;
$= 120/k_{ij}$ Н/мм^2;

k_{ij} коэффициент стали повышенной прочности *k* для листового элемента *ij*, как указано в *разделе 6/1.1.4;*

$$\tau_{str} = \frac{Q_{str-k}}{l_{str}\, t_{sfc-net50}} \text{ Н/мм}^2;$$

l_{str} соединительная длина стрингера, м, см. *рис. 8.1.5;*

Q_{str-k} перерезывающая сила, действующая на продольную переборку от стрингера в нагруженном состоянии при полных танках, расположенных в одной плоскости

$$= 0{,}8F_{str-k}\left(1 - \frac{z_{str} - h_{db}}{h_{bhd}}\right) \text{ кН;}$$

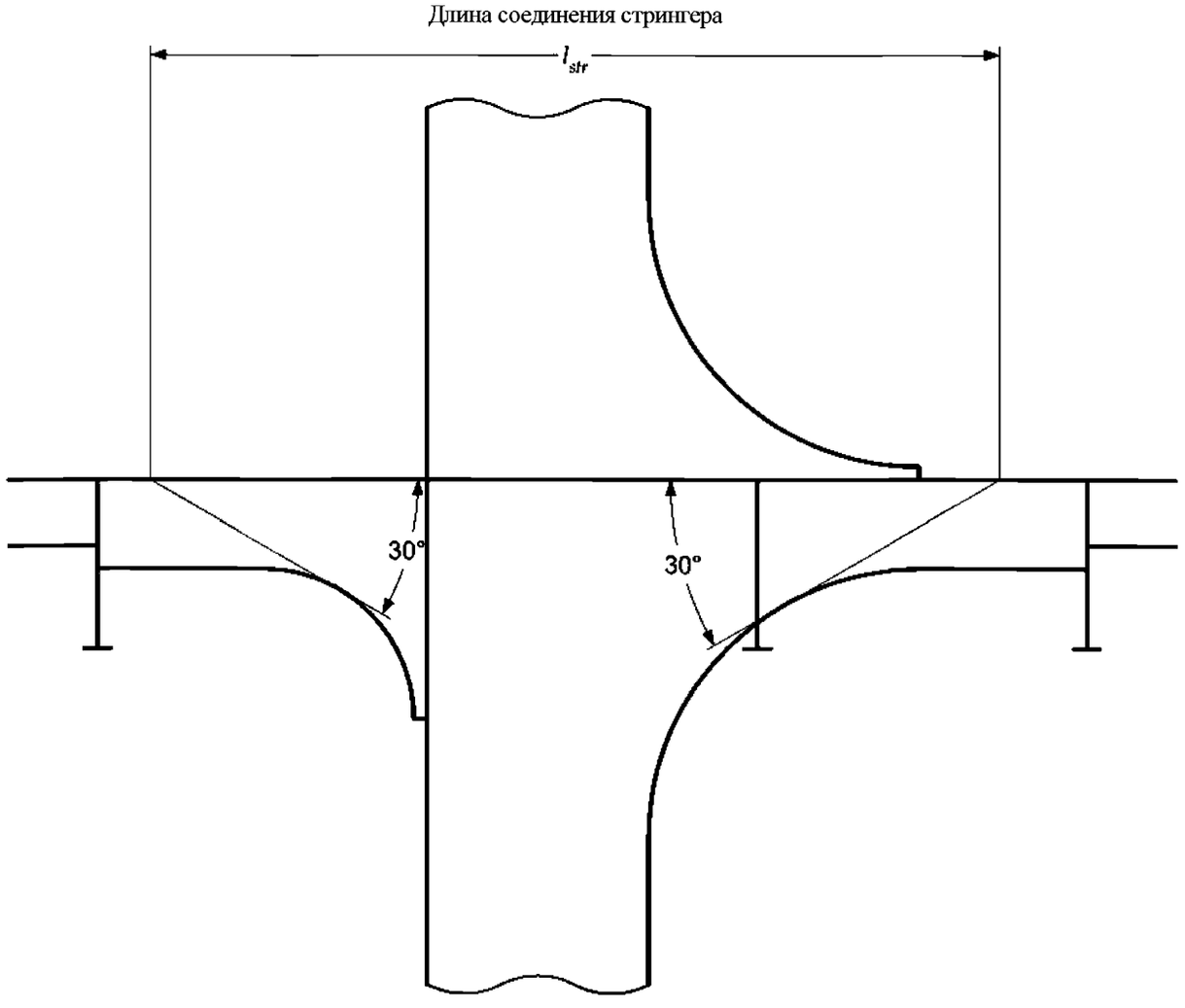
F_{str-k} общая реакция опоры стрингера, кН, как указано в *1.3.4.2;*

h_{db} высота двойного дна, м, как указано на *рис. 8.1.6;*

h_{blk} высота переборки, м, определенная как расстояние от второго дна до палубы на верхней кромке переборки, как указано на *рис. 8.1.6;*

z_{str} вертикальное расстояние от линии основания до рассматриваемого стрингера, м.

Рис. 8.1.5
Длина соединения стрингера



1.3.4.2 Общая реакция опоры стрингера, F_{str-k}, в месте прохождения продольной переборки должна приниматься равной:

$$F_{str-k} = \frac{P_{str} b_{str} (h_k + h_{k-1})}{2} \text{ кН},$$

где P_{str} нагрузка на стрингер, кН/м^2, которую следует принимать равной $10h_{tt}$;

h_{tt} высота от вершины танка до средней точки нагружаемой области между $h_k/2$ под стрингером и $h_{k-1}/2$ над стрингером, м;

h_k вертикальное расстояние от рассматриваемого стрингера до нижележащего стрингера. Для самого нижнего стрингера данное значение должно приниматься равным 80 % среднего вертикального расстояния до второго дна, м;

h_{k-1} вертикальное расстояние от рассматриваемого стрингера до вышележащего стрингера. Для самого верхнего стрингера данное значение должно приниматься равным 80 % среднего вертикального расстояния до верхней палубы, м;

b_{str} ширина нагрузки на стрингер, м, см. *рис. 8.1.7* и *8.1.8.*

Рис. 8.1.6
Область действия поправки на стрингер, t_{ij}, для нефтеналивного судна с тремя стрингерами

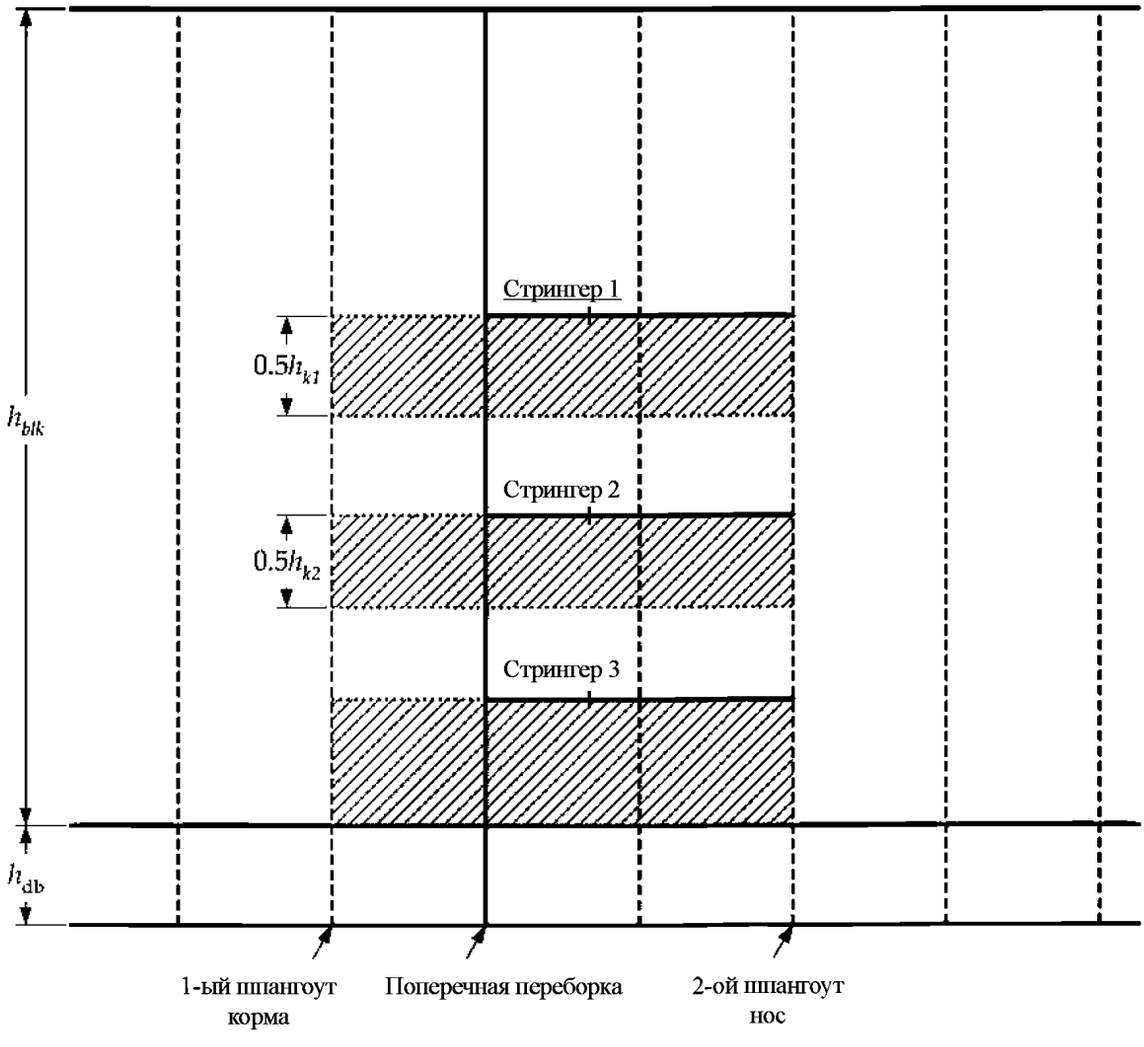
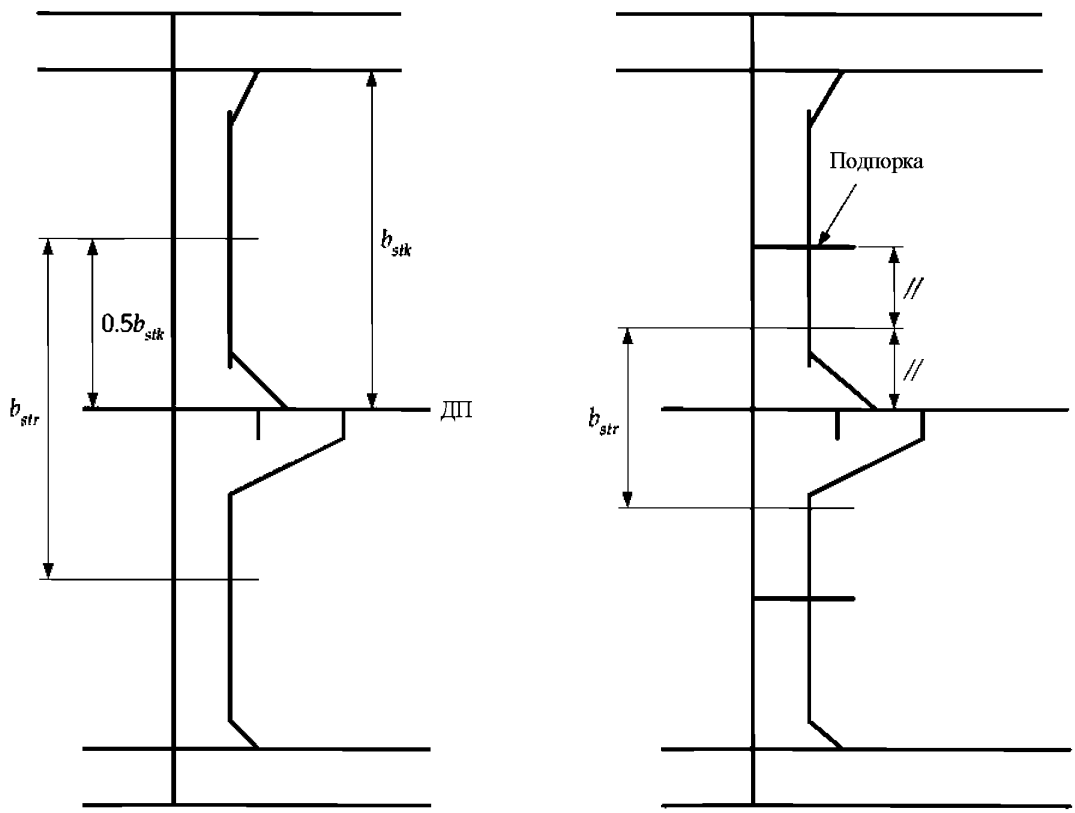


Рис. 8.1.7
Ширина нагрузки на стрингеры для судов в диаметральной плоскости



1.3.4.3 В случае, если для соответствия вышеуказанным требованиям имеется усиление, район усиления на основании $t_{str\text{-}k}$ должен продолжаться вдоль на полную длину соединения стрингера и, как минимум, одной шпации в нос и в корму от переборки. Район усиления должен продолжаться вертикально от уровня выше стрингера и вниз на расстояние $0{,}5h_k$ от стрингера, где h_k – расстояние по вертикали от рассматриваемого стрингера до нижележащего стрингера, как указано в *1.3.4.2*. Для самого нижнего стрингера область действия требования к толщине листового элемента $t_{str\text{-}k}$ должна продолжаться вниз по направлению к второму дну, см. *рис. 8.1.6*.

1.4 Устойчивость корпуса

1.4.1 Общие положения

1.4.1.1 Данные требования относятся к пластинам и продольным балкам под действием сжатия корпуса и напряжений сдвига. Эти напряжения должны основываться на допустимых значениях для изгибающих моментов и перерезывающих сил на на тихой воде, указанных в *разделе 7/2.1*, и волновых изгибающих моментах и перерезывающих силах, указанных в *разделе 7/3.4*.

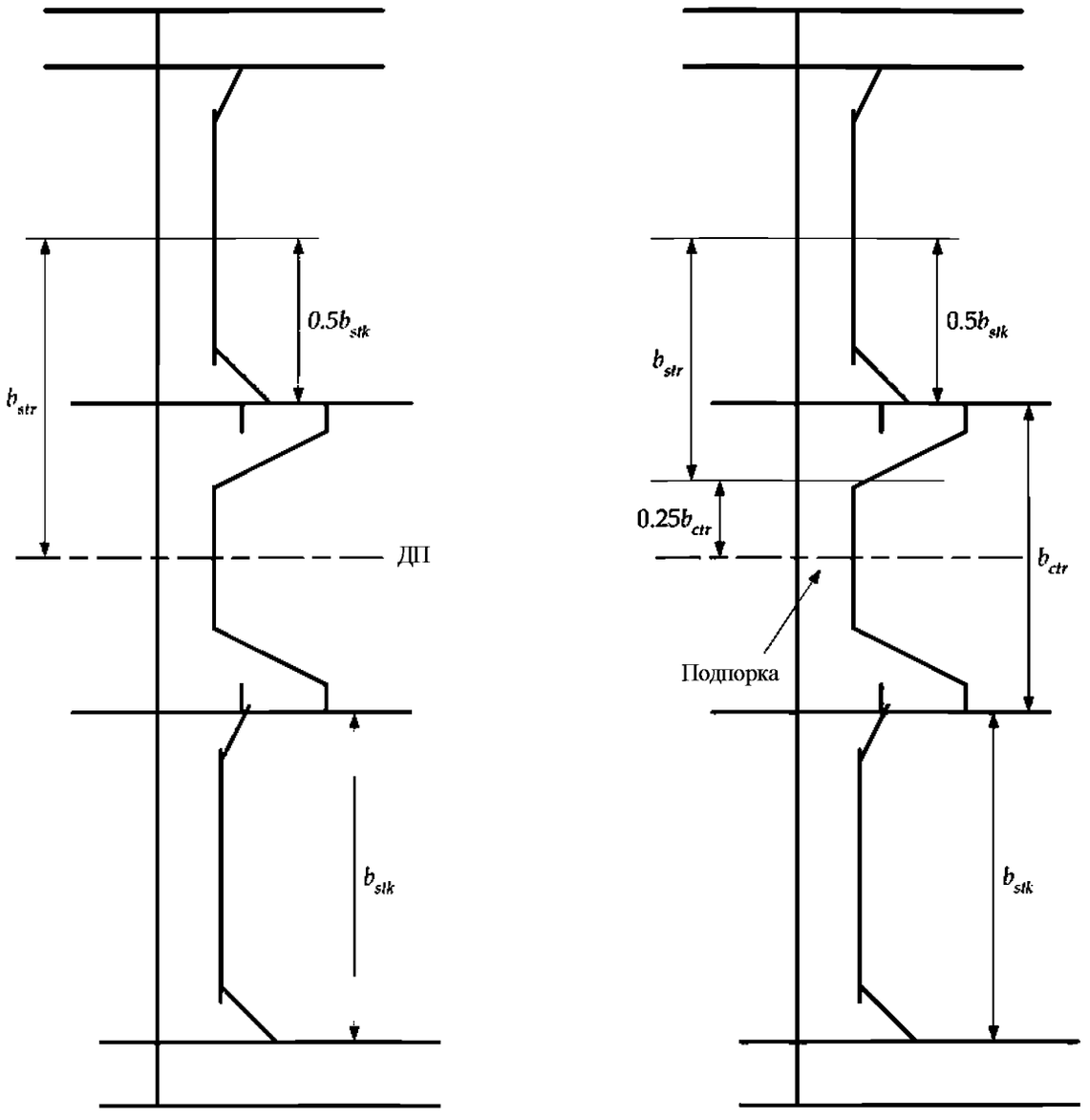
1.4.1.2 Требования к устойчивости корпуса действуют по всей длине судна от кормового до носового перпендикуляра.

1.4.1.3 В целях рассмотрения устойчивости корпуса в данном Подразделе следует учитывать по отдельности следующие напряжения корпуса:

а) осевое сжимающее напряжение корпуса в соответствии с требованиями, указанными в *1.4.2.6* и *1.4.2.8;*

б) касательное напряжение корпуса в соответствии с требованиями, указанными в *1.4.2.7.*

Рис. 8.1.8
Ширина нагрузки на стрингеры для судов с двумя внутренними продольными переборками



Примечания
1. b_{stk} – ширина бортового грузового танка, м.
2. b_{ctr} – ширина центрального грузового танка, м.

1.4.2 Оценка устойчивости

1.4.2.1 Оценка устойчивости пластин и продольных балок должна выполняться в соответствии с *разделом 10/3.1,* при этом напряжения корпуса следует рассчитывать, исходя из параметров сечения нетто корпуса.

1.4.2.2 Устойчивость для оценки устойчивости должна быть получена при помощи локальных размеров нетто связей корпуса, t_{net}, рассчитанных по следующей формуле:

$$t_{net} = t_{grs} - 1{,}0\, t_{corr} \quad \text{мм},$$

где t_{grs} полная толщина листа, мм;
t_{corr} прибавка на коррозию, мм, как указано в *разделе 6/3.2*.

1.4.2.3 Сжимающее напряжение корпуса при изгибе, $\sigma_{hg\text{-}net50}$, для оценки устойчивости должно рассчитываться при помощи параметров сечения нетто корпуса и приниматься как большее из нижеприведенных значений:

$$\sigma_{hg\text{-}net50} = \left| \frac{(z - z_{NA\text{-}net50})\,(M_{sw\text{-}perm\text{-}sea} + M_{wv\text{-}v})}{I_{v\text{-}net50}} \right| 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{hg\text{-}net50} = \frac{30}{k} \quad \text{Н/мм}^2,$$

где $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимый изгибающий момент на тихой воде для операций при переходе морем, кНм, как указано в *разделе 7/2.1.1*, со знаками, как указано в *1.4.2.4;*
$M_{wv\text{-}v}$ вертикальные волновые изгибающие моменты при прогибе и перегибе, кНм, как указано в *разделе 7/3.4.1*, со знаками, как указано в *1.4.2.4*;
$M_{wv\text{-}v}$ следует принимать равным:
$M_{wv\text{-}hog}$ для оценки при вертикальном волновом изгибающем моменте на тихой воде при перегибе;
$M_{wv\text{-}sag}$ для оценки при вертикальном волновом изгибающем моменте на тихой воде при прогибе;
z расстояние от рассматриваемого конструктивного элемента до линии основания, м;
$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, м, см. *рис. 8.1.1;*
$I_{v\text{-}net50}$ момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса, м^4, как указано в *разделе 4/2.6.1.1*;
k коэффициент стали повышенной прочности, как указано в *разделе 6/1.1.4.1.*

1.4.2.4 Значения изгибающего момента при прогибе, $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ и $M_{wv\text{-}v}$, следует выбирать для элементов выше нейтральной оси. Значения изгибающего момента при перегибе следует принимать для элементов ниже нейтральной оси.

1.4.2.5 Расчетное касательное напряжение для оценки устойчивости, $\tau_{hg\text{-}net50}$, должно рассчитываться на основании параметров сечения нетто корпуса и приниматься равным:

$$\tau_{hg\text{-}net50} = \left| (Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea} + Q_{wv}) \left(\frac{1000\, q_v}{t_{ij\text{-}net50}} \right) \right| \quad \text{Н/мм}^2,$$

где $Q_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ положительные и отрицательные допустимые перерезывающие силы на тихой воде, кН, как указано в *разделе 7/2.1.3;*
Q_{wv} положительная или отрицательная вертикальная волновая перерезывающая сила, кН, как указано в *разделе 7/3.4.3;*
Q_{vw} следует принимать равной:
$Q_{wv\text{-}pos}$ для оценки при допустимой положительной перерезывающей силе на тихой воде;
$Q_{wv\text{-}neg}$ для оценки при допустимой отрицательной перерезывающей силе на тихой воде;
$t_{ij\text{-}net50}$ толщина нетто листа *ij*, мм
$= t_{ij\text{-}grs} - 0{,}5 t_{corr}$;
$t_{ij\text{-}grs}$ полная толщина листа *ij*, мм. Полная толщина листа для гофрированных переборок должна приниматься равной минимальным значениям $t_{w\text{-}grs}$ и $t_{f\text{-}grs}$, мм;
$t_{w\text{-}grs}$ полная толщина рамной стойки гофра, мм;
$t_{f\text{-}grs}$ полная толщина фланца гофра, мм;
t_{corr} прибавка на коррозию, мм, как указано в *разделе 6/3.2;*
q_v поток с относительным сдвигом для расматриваемого листа, как указано в *1.3.2.2.*

Примечания:

1. В качестве основания для вычисления расчетного касательного напряжения следует использовать максимальную положительную перерезывающую силу (на тихой воде + при волнении) и максимальную отрицательную перерезывающую силу (на тихой воде + при волнении).

2. Должна быть выполнена оценка всех листовых элементов *ij*, влияющих на прочность корпуса при сдвиге. См. также *табл. 8.1.4* и *рис. 8.1.2*.

1.4.2.6 Устойчивость пластин при сжатии должна удовлетворять следующим критериям:

$$\eta \leq \eta_{allow},$$

где η коэффициент запаса по устойчивости;

$$\frac{\sigma_{hg-net50}}{\sigma_{cr}};$$

$\sigma_{hg\text{-}net50}$ сжимающее напряжение корпуса на основании параметров сечения нетто корпуса, Н/мм^2, как указано в *1.4.2.3;*

σ_{cr} критическое сжимающее напряжение при продольном изгибе, σ_{xcr} или σ_{ycr} соответственно, Н/мм^2, как указано в *разделе 10/3.2.1.3*. Критическое сжимающее напряжение при продольном изгибе должно рассчитываться только для влияния сжимающего напряжения корпуса. Влияние других мембранных напряжений и бокового давления не должно учитываться;

η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости:
= 1,0 для пластин более 0,5*D*;
= 0,85 для пластин менее 0,5*D*.

1.4.2.7 Устойчивость пластин при сдвиге должна удовлетворять следующим критериям:

$$\eta \leq \eta_{allow},$$

где η коэффициент запаса по устойчивости;

$$\frac{\sigma_{hg-net50}}{\sigma_{cr}};$$

где $\tau_{hg\text{-}net50}$ расчетное касательное напряжение корпуса, Н/мм^2, как указано в 1.4.2.5;

τ_{cr} критическое касательное напряжение при продольном изгибе, Н/мм^2, как указано в *разделе 10/3.2.1.3*. Критическое касательное напряжение при продольном изгибе должно рассчитываться только для влияния касательного напряжения корпуса. Влияние других мембранных напряжений и бокового давления не должно учитываться.

η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости
= 0,95.

1.4.2.8 Устойчивость при сжатии продольных ребер жесткости должна удовлетворять следующим критериям:

$$\eta \leq \eta_{allow},$$

где η большее из значений коэффициентов запаса по устойчивости, указанных в *разделе 10/3.3.2.1*, *10/3.3.3.1*. Коэффициент запаса по устойчивости должен рассчитываться только для влияния сжимающего напряжения корпуса. Влияние других мембранных напряжений и бокового давления не должны учитываться.

η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости:
= 1,0 для ребер жесткости более 0,5*D*;
= 0,85 для ребер жесткости менее 0,5*D*.

1.5 Усталостная прочность корпуса

1.5.1 Общие положения

1.5.1.1 Нижеприведенные методы представляют собой упрощенное средство контроля усталости, вызываемой динамическим напряжением эквивалентного бруса корпуса в продольных палубных конструкциях.

1.5.1.2 Требования *1.5.1.3* не являются обязательными, однако их рекомендуется применять на ранней стадии проектирования для определения требуемого момента сопротивления сечения эквивалентного бруса, чтобы обеспечить соответствие обязательным требованиям по усталости, указанным в *разделе 9/3* и *приложении С*.

1.5.1.3 Усталостная долговечность палубной конструкции в соответствии с требованиями *раздела 9/3 и приложения С*, как правило, достигается за счет обеспечения значения момента сопротивления сечения нетто эквивалентного бруса по общей линии палубы у борта, $Z_{v\text{-}net50}$, как указано в *разделе 4/2.6.1.1*, не менее, чем требуемый момент сопротивления сечения эквивалентного бруса корпуса, $Z_{v\text{-}fat}$, определяемый по формуле:

$$Z_{v\text{-}fat} = \frac{M_{wv\text{-}hog} - M_{wv\text{-}sag}}{1000 R_{al}} \quad \text{м}^3,$$

где $M_{wv\text{-}hog}$ вертикальный волновой изгибающий момент при перегибе для усталости, кНм, как указано в *разделе 7/3.4.1;*

$M_{wv\text{-}sag}$ вертикальный волновой изгибающий момент при прогибе для усталости, кНм, как указано в *разделе 7/3.4.1;*

R_{al} допустимый диапазон напряжения, Н/мм^2

$= 0{,}17L + 86$ для деталей класса F;

$= 0{,}15L + 76$ для деталей класса F2;

L длина судна согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1.*

1.6 Уменьшение размеров и конструктивная целостность продольных элементов эквивалентного бруса по длине корпуса

1.6.1 Уменьшение размеров на основании минимальных требований к свойствам сечения эквивалентного бруса по длине корпуса

1.6.1.1 Размеры всех непрерывных продольных элементов эквивалентного бруса корпуса, исходя из требований к моменту инерции и моменту сопротивления сечения, указанных в *1.4.2,* должны соблюдаться в пределах $0{,}4L$ от миделя судна.

1.6.1.2 В соответствии с требованиями к минимальному моменту инерции и моменту сопротивления сечения, указанными в *1.2.2*, размеры за пределами $0{,}4L$ от миделя судна могут быть постепенно уменьшены до соответствия местным требованиям по оконечностям при условии соблюдения требований к изгибу и устойчивости эквивалентного бруса корпуса по всей длине судна, указанных в *1.2.3* и *1.4.* Требования к уменьшению размеров элементов из стали повышенной прочности см. в *1.6.2* и *1.6.3*.

1.6.2 Продольное расположение элементов из стали повышенной прочности

1.6.2.1 Там, где применяется, использование стали повышенной прочности должно быть непрерывным по всей длине судна вплоть до областей, где уровни продольных напряжений находятся в диапазоне значений, допустимых для конструкций, изготовленных из низкоуглеродистых сталей, см. *рис. 8.1.9.*

1.6.3 Вертикальное расположение элементов из стали повышенной прочности

1.6.3.1 Вертикальное расположение элементов из стали повышенной прочности, z_{hts}, используемых как часть палубы или днища, измеряемая от теоретической линии палубы у борта или киля, должна быть не менее нижеприведенного значения, см. также *рис. 8.1.10.*

$$z_{hts} = z_1 \left(1 - \frac{190}{\sigma_1 k_i} \right) \quad \text{м},$$

где z_1 расстояние от горизонтальной нейтральной оси до теоретической линии палубы или киля соответственно, м;

σ_1 должно приниматься как σ_{dk} или σ_{kl} для палубы и киля соответственно, Н/мм^2;

σ_{dk} напряжение при изгибе эквивалентного бруса на теоретической линии палубы, вычисляемое по формуле:

$$= \frac{|M_{sw\text{-}perm\text{-}sea} + M_{wv\text{-}v}|}{I_{v\text{-}net50}} (z_{dk\text{-}side} - z_{na\text{-}net50}) 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2;$$

σ_{kl} напряжение при изгибе эквивалентного бруса корпуса на киле, вычисляемое по формуле:

$$= \frac{|M_{sw\text{-}perm\text{-}sea} + M_{wv\text{-}v}|}{I_{v\text{-}net50}}(z_{NA\text{-}net50} - z_{kl})10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2;$$

$M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимый изгибающий момент эквивалентного бруса на тихой воде для операций при переходе морем, кНм, как указано в *разделе 7/2.1.1;*

$M_{wv\text{-}v}$ вертикальные волновые изгибающие моменты при перегибе и прогибе, кНм, как указано в *разделе 7/3.4.1;*

$M_{wv\text{-}v}$ должно приниматься равным:

$M_{wv\text{-}hog}$ для оценки относительно вертикального волнового изгибающего момента при перегибе;

$M_{wv\text{-}sag}$ для оценки относительно вертикального волнового изгибающего момента при прогибе;

$I_{v\text{-}net50}$ момент инерции нетто вертикального эквивалентного бруса, м^4, как указано в *разделе 4/2.6.1.1;*

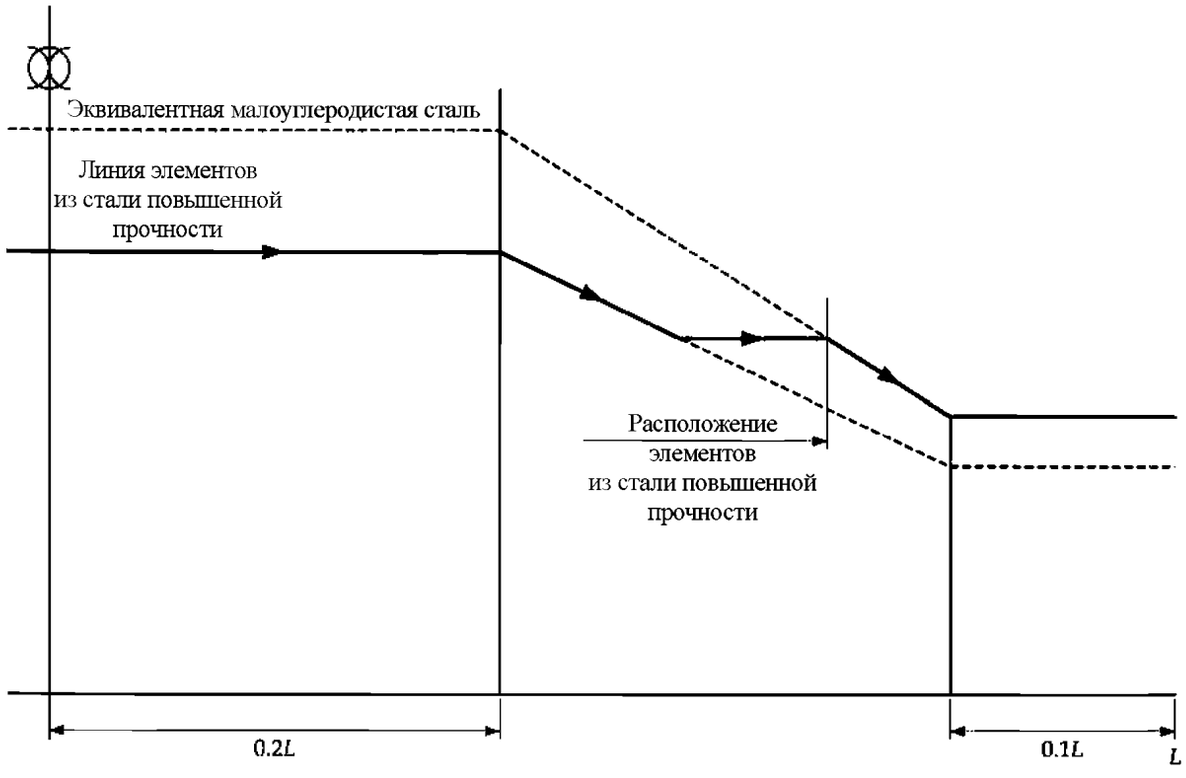
$z_{dk\text{-}side}$ расстояние от линии основания до теоретической линии палубы у борта, м;

z_{kl} расстояние по вертикали от линии основания до киля, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, м;

k_i коэффициент стали повышенной прочности для области *i*, указанной на *рис. 8.1.10*. Коэффициент, *k*, указан в *разделе 6/1.1.4.*

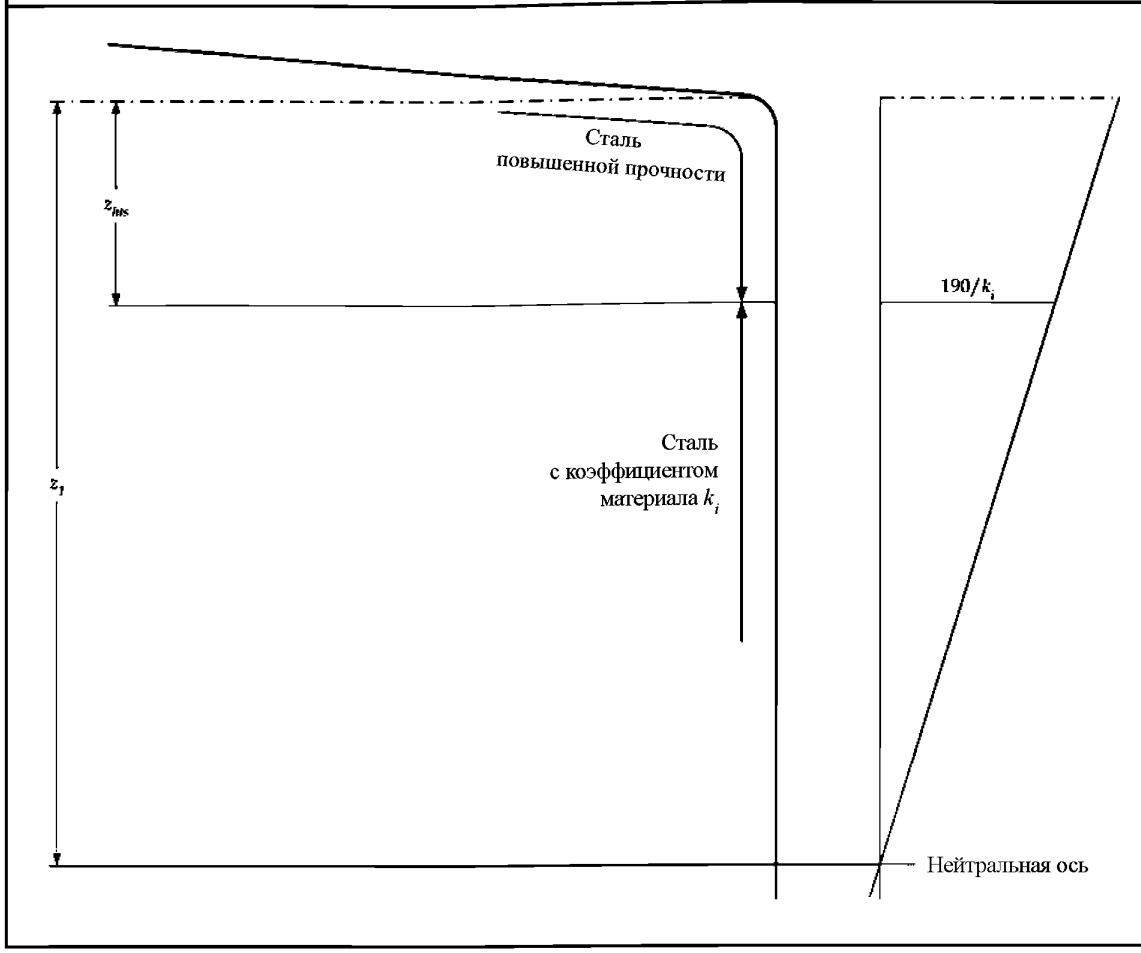
Рис. 8.1.9
Продольное расположение элементов из стали повышенной прочности



1.6.4 Уменьшение толщины листовых элементов для обеспечения соответствия требованиям по сдвигу эквивалентного бруса

1.6.4.1 Продольное уменьшение толщины поперечной арматуры допускается при условии, что для любого продольного положения соблюдаются требования, указанные в *1.3.2*. Контроль прочности на сдвиг в промежуточных положениях должен осуществляться методом линейной интерполяции допустимых предельных значений сдвига на переборке и в средней части цистерны.

Рис. 8.1.10
Вертикальное расположение элементов из стали повышенной прочности



1.6.5 Конструктивная целостность продольных переборок

1.6.5.1 Чтобы обеспечить целостность и избежать резких изменений конструкции, должны быть обеспечены подходящие соединения в косой замок. В частности, продольные переборки должны оканчиваться в местах расположения эффективной поперечной переборки, и в направлении продольной переборки должны быть установлены крупногабаритные переходные бракеты.

1.6.6 Конструктивная целостность продольных ребер жесткости

1.6.6.1 В тех местах, где продольные ребра жесткости заканчиваются и заменяются системой поперечных элементов конструкции, следует обеспечить соответствующие приспособления для предотвращения резкой смены подкрепления.

1.6.6.2 В тех местах, где продольное ребро жесткости палубы срезано в месте расположения отверстия, следует поместить компенсирующую конструкцию для обеспечения конструктвиной целостности в данной области. Площадь компенсирующей конструкции должна в достаточной степени, перекрывать отверстие в сторону носа и кормы и быть не меньше площади сечения продольного элемента конструкции. Также следует учесть концентрацию напряжений в месте окончания ребра жесткости и соответствующую устойчивость листа и панели.

2 Район грузовых танков

2.1 Общие положения

2.1.1 Область применения

2.1.1.1 Требования данного Подраздела относятся к корпусным конструкциям, расположенным в районе грузовых танков судна, обшивке, палубе, второму дну и обшивке переборок, ребрам жесткости и главным несущим элементам.

2.1.2 Основные составляющие размеров связей корпуса

2.1.2.1 Размеры связей корпуса нетто, описанные в данном Подразделе, связаны с полными размерами связей корпуса следующим образом:

а) в целях применения требований по минимальной толщине, указанных в *2.1.5* и *2.1.6*, полная толщина получается на основании соответствующих требований путем прибавления полных прибавок на коррозию, указанных в *разделе 6/3*;
б) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются на основании соответствующих требований путем прибавления полных прибавок на коррозию, указанных в *разделе 6/3;*
в) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются на основании применимых требований путем прибавления половины величины соответствующей прибавки на коррозию, указанной в *разделе 6/3;*
г) в целях применения требований к устойчивости, указанных в *разделе 10/3*, полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются на основании применимых требований путем прибавления полных прибавок на коррозию, указанных в *разделе 6/3*.

2.1.3 Оценка размеров связей корпуса

2.1.3.1 Нижеприведенные требования к размерам связей корпуса основываются на предположении, что все конструктивные соединения и сварные элементы проектируются и изготавливаются с учетом обеспечения их совместимости с ожидаемыми уровнями рабочей нагрузки в рассматриваемых местах расположения. Варианты нагрузки, концентрации напряжений и потенциальные режимы отказа конструктивных соединений и элементов должны быть учтены в процессе проектирования. Проектные элементы конструкции должны соответствовать требованиям, приведенным в *разделе 4/3*.

2.1.3.2 Оценка размеров связей корпуса необходима для того, чтобы обеспечить удовлетворение критериев прочности во всех продольных положениях, где применимо.

2.1.3.3 Где применимо, следует использовать местное увеличение размеров связей корпуса, чтобы компенсировать местные варианты, такие как увеличенная шпация, увеличенная длина пролета ребра жесткости и нагрузки при заливании палубы. Местное увеличение размеров связей корпуса также может требоваться для того, чтобы обеспечить соответствие требованиям в отношении усиления носовой части судна, см. *раздел 8/3*.

2.1.4 Общие требования к размерам связей корпуса

2.1.4.1 Корпусная конструкция должна соответствовать применимым требованиям к:

а) продольной прочности эквивалентного бруса, см. *раздел 8/1;*
б) прочности при ударах жидкости о стенки танка и ударных нагрузках, см. *раздел 8/6;*
в) предельной прочности эквивалентного бруса, см. *раздел 9;*
г) оценке прочности (по методу конечных элементов), см. *раздел 94*
д) усталостной прочности, см. *раздел 9/3;*
е) устойчивости и предельной прочности, см. *раздел 10.*

2.1.4.2 Момент сопротивления сечения нетто, площади сдвига и прочие свойства сечения элементов основного набора и главных несущих элементов определяются в соответствии с *разделом 4/2*.

2.1.4.3 Момент сопротивления сечения, площади сдвига и прочие свойства сечения элементов основного набора и главных несущих элементов относятся к тем местам, где не установлены концевые бракеты.

2.1.4.4 Длины пролетов элементов основного набора и главных несущих элементов определены в *разделе 4/2.1*.

2.1.4.5 Моменты инерции для главных несущих элементов следует определять совместно с эффективной прикрепленной обшивкой на середине пролета в соответствии с *разделом 4/2.3.2.3*.

2.1.4.6 Проточные, сливные и вентиляционные отверстия должны быть вырезаны во всех частях конструкции, где необходимо, чтобы обеспечить свободный проход всасывающего трубопровода и выход воздуха в воздухозаборники. См. также *раздел 4/3*.

2.1.4.7 Все бортовые шпангоуты и ребра жесткости границ танка, в целом, должны быть непрерывными или иметь на концах бракеты, за исключением случаев, указанных в *разделах 4/3.2.4 и 4/3.2.5*. См. также *раздел 4/3.2*.

2.1.5 Минимальная толщина обшивки и элементов основного набора

2.1.5.1 Толщина обшивки и ребер жесткости в районе грузовых танков должна соответствовать применимым требованиям к минимальной толщине, указанным в *табл. 8.2.1*.

Таблица 8.2.1

Минимальная толщина нетто обшивки и элементов основного набора в районе грузовых танков

Расположение размеров связей корпуса			**Толщина нетто** (мм)
Обшивка	**Обшивка корпуса до T_{sc} + 4,6 м**	Обшивка киля	$5,5 + 0,03L_2$
		Днищевая обшивка /скуловая/ бортовая обшивка	$3,5 + 0,03L_2$
	Обшивка корпуса более T_{sc} + 4,6 м	Бортовая обшивка/верхняя палуба	$4,5 + 0,02L_2$
	Внутренние конструкции корпуса	Внутрикорпусные границы танка	$4,5 + 0,02L_2$
		Проницаемые переборки, переборки между сухими помещениями и другие листовые элементы	$4,5 + 0,01L_2$
Элементы основного набора	Элементы основного набора на проницаемых границах танка		$3,5 + 0,015L_2$
	Элементы основного набора на других конструкциях		$2,5 + 0,015L_2$
Подкрепляющие кницы			$5,0 + 0,015L_2$

где T_{sc} как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*
L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

2.1.6 Минимальная толщина главных несущих элементов

2.1.6.1 Толщина рамного шпангоута и торцевой обшивки главных несущих элементов расположения грузовых танков должна соответствовать применимым требованиям к минимальной толщине, указанным в *табл. 8.2.2*.

Таблица 8.2.2

Минимальная толщина нетто главных несущих элементов в районе грузовых танков

Расположение размеров связей корпуса	**Толщина нетто** (мм)
Вертикальный киль двойного дна	$5,5 + 0,025L_2$
Прочие балки двойного дна	$5,5 + 0,02L_2$
Флоры двойного дна, стенки бортовых поперечных балок и стрингеров двойного корпуса	$5,0 + 0,015L_2$
Стенки и пояски вертикальных рамных шпангоутов продольных переборок, горизонтальные стрингеры поперечной переборки и поперечные подпалубные балки (выше и ниже верхней палубы)	$5,5 + 0,015L_2$
L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.	

2.2 Наружная обшивка корпуса

2.2.1 Килевая обшивка

2.2.1.1 Килевая обшивка должна располагаться по всей плоской части днища по всей длине судна. Ширина, b_{kl}, должна быть не менее чем:

$$b_{kl} = 800 + 5L_2 \text{ мм,}$$

где L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

2.2.1.2 Толщина килевой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *2.2.2*.

2.2.2 Днищевая обшивка

2.2.2.1 Толщина днищевой обшивки должна соответствовать требованиям. указанным в *табл. 8.2.4*.

2.2.3 Скуловая обшивка

2.2.3.1 Толщина скуловой обшивки должна быть не менее требуемой для смежной днищевой обшивки, см. *2.2.2.1,* или смежной бортовой обшивки, см. *2.2.4.1*, в зависимости от того, что больше.

2.2.3.2 Толщина нетто скуловой обшивки, t_{net}, без продольных ребер жесткости должна быть не менее чем:

$$t_{net} = \frac{\sqrt[3]{r^2 S_t P_{ex}}}{100} \text{ мм,}$$

где P_{ex} расчетное давление воды для варианта расчетной нагрузки 1, рассчитанного на нижнем скруглении скулы, кН/м^2;

r эффективный радиус скулы $= r_0 + 0,5(a + b)$ мм;

r_o радиус кривизны, мм. См. *рис. 8.2.1;*

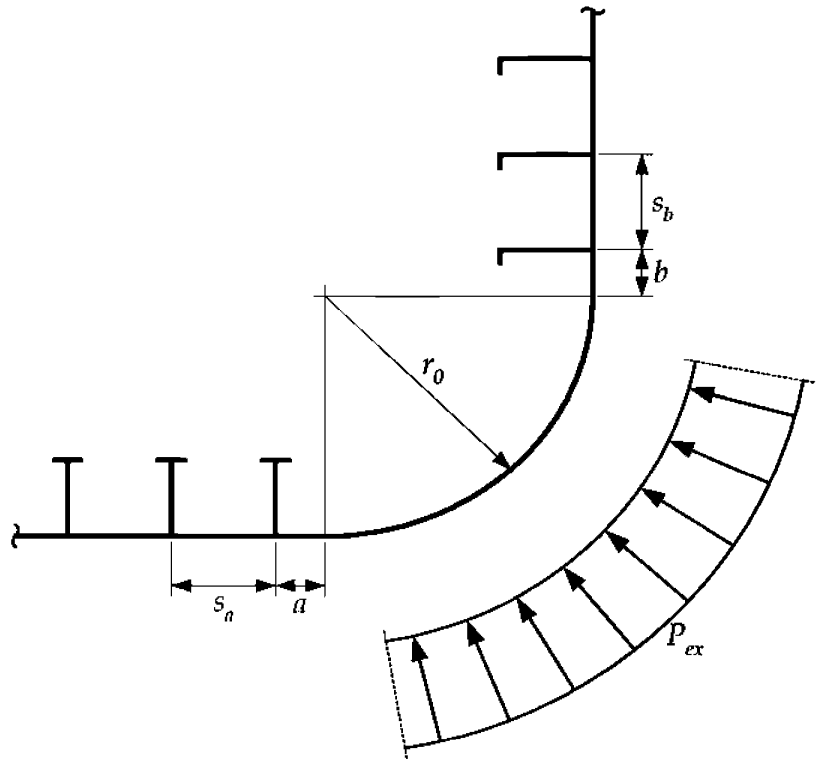
S_t расстояние между поперечными ребрами жесткости, рамами или бракетами скулы, м;

a расстояние между нижним скруглением скулы и внешней продольной балкой днища, мм, см. *рис. 8.2.1* и *2.3.1.2*. В случае, когда внешняя продольная балка днища соответствует требованиям кривизны, это расстояние следует принимать равным нулю;

b расстояние между верхним скруглением скулы и нижней продольной балкой борта, мм, см. *рис. 8.2.1* и *2.3.1.2*. В случае, когда нижняя продольная балка борта соответствует требованиям кривизны, это расстояние следует принимать равным нулю.

Скуловой киль в целях применения данного требования не считается продольным ребром жесткости.

Рис. 8.2.1
Скуловая обшивка без ребра жесткости



2.2.3.3 В тех местах, где отсутствуют продольные балки скулы, толщина скуловой обшивки за пределами района $0{,}4L$ от миделя судна будет рассматриваться в связи с опорой, обеспечиваемой формой судна и внутренними ребрами жесткости. В целом, за пределами района $0{,}4L$ от миделя судна, размеры связей корпуса и конструкция скуловой обшивки должны соответствовать требованиям к обычной бортовой или днищевой обшивке в том же районе. Необходимо принимать во внимание участки в районе носовой части судна, где существуют повышенные нагрузки.

2.2.4 Бортовая обшивка

2.2.4.1 Толщина бортовой обшивки должна соответствовать требованиям *табл. 8.2.4*.

2.2.4.2 Толщина нетто, t_{net}, бортовой обшивки в диапазоне, заданном в *2.2.4.3*, должна быть не менее чем:

$$t_{net} = 26\left(\frac{s}{1000} + 0{,}7\right)\left(\frac{B T_{sc}}{\sigma_{yd}^2}\right)^{0{,}25} \text{ мм},$$

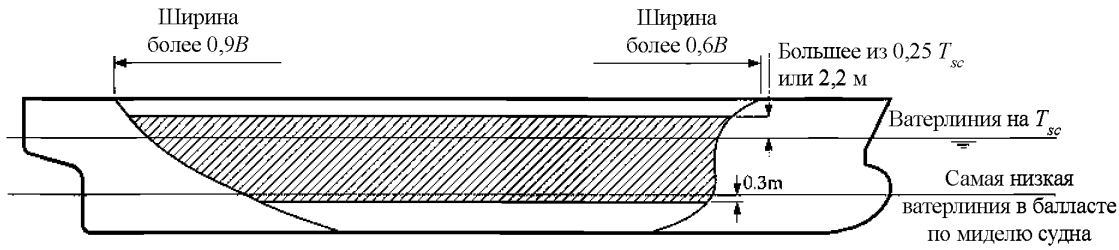
где s шпация ребра жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*
B ширина, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*
T_{sc} осадка размеров связей корпуса, как указано *в разделе 4/1.1.5.5;*
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.2.4.3 Толщина, указанная в *2.2.4.2,* применяется к бортовой обшивке, см. *рис. 8.2.2*:
а) в продольном направлении:
- между сечением в корму от миделя судна, в котором ширина по ватерлинии превышает $0{,}9B$, и сечением в нос от миделя судна, в котором ширина по ватерлинии превышает $0{,}6B$;

б) в вертикальном направлении:

- между 300 мм ниже самой низкой ватерлинии в балласте по миделю судна до 0,25 T_{sc} или 2,2 м, в зависимости от того, что больше, выше осадки T_{sc}.

Рис. 8.2.2
Протяженность бортовой обшивки



2.2.5 Ширстрек

2.2.5.1 Ширстрек должен соответствовать требованиям, указанным в *2.2.4*.

2.2.5.2 В пределах 0,6*L* от миделя следует избегать приварки палубных дельных вещей к скругленным ширстрекам.

2.2.5.3 В случае, если ширстрек выходит за пределы палубного стрингера, верхний край ширстрека необходимо оставить свободным от засечек и отдельной приваренной арматуры; он должен быть гладким со скругленными краями. Если режущая поверхность не гладкая, может потребоваться шлифование. Могут допускаться сливные отверстия с плавным переходом в направлении продольных балок.

2.2.6 Настил палубы

2.2.6.1 Толщина настила палубы должна соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.4*.

2.3 Набор корпуса

2.3.1 Общие положения

2.3.1.1 Днищевая обшивка, второе дно и палуба должны иметь продольные балки в районе грузовых танков. Бортовая обшивка, переборки внутреннего корпуса и продольные переборки, как правило, требуют наличия продольных балок. В случае, если бортовая обшивка имеет продольные балки, переборки внутреннего корпуса должны иметь аналогичную конструкцию. Подходящие альтернативные варианты, учитывающие сопротивление продольному изгибу, требуют особого рассмотрения.

2.3.1.2 В местах, где продольные балки отсутствуют в районе скулы, следует закрепить продольную балку на днище и по борту рядом с тем местом, где начинается изгиб листового элемента скулы. Расстояние между нижним изгибом скулы и внешней продольной балкой днища, a, обычно не должно превышать одной трети расстояния между двумя внешними продольными балками днища, s_a. Аналогично, расстояние между верхним изгибом скулы и самой нижней продольной балкой борта, b, обычно не должно превышать одной трети расстояния между двумя самыми нижними продольными балками борта, s_b. Кроме того, в случае, если между поперечными балками не устанавливаются промежуточные бракеты, s_a и s_b не должны превышать одной трети радиуса или 50 применимых местных толщин обшивки, в зависимости от того, что больше. См. *рис. 8.2.1*.

2.3.1.3 Продольные балки должны соответствовать требованиям непрерывности, указанным в *разделе 4/3.2.*

2.3.2 Критерии размеров связей корпуса

2.3.2.1 Момент сопротивления сечения и толщина наружной обшивки корпуса должны соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.5* и *8.2.6.*

2.3.2.2 В случае, когда продольная балка или вертикальное ребро жесткости бортовой обшивки наклонены относительно продольной или вертикальной оси, соответственно, значение пролета следует принимать в соответствии с *разделом 4/2.1.3.*

2.3.2.3 Для изогнутых ребер жесткости пролет следует принимать в соответствии с *разделом 4/2.1.3.*

2.4 Второе дно

2.4.1 Обшивка второго дна

2.4.1.1 Толщина обшивки второго дна должна соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.4.*

2.4.1.2 В районе излома сварной скулы второе дно должно иметь скос, чтобы обеспечить надлежащий перенос нагрузки на окружающую конструкцию и снизить концентрацию напряжения.

2.4.1.3 В районе опор под гофрированными переборками, где они имеются, следует обратить особое внимание на свойства по толщине и устройства, обеспечивающие непрерывность прочности в районе соединения опоры под переборкой и второго дна. Требования к листовым элементам с заданными свойствами по толщине, см. *раздел 6/1.1.5.*

2.4.2 Продольные балки второго дна

2.4.2.1 Момент сопротивления сечения и толщина рамного шпангоута продольных балок второго дна должны соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.5* и *8.2.6.*

2.5 Переборки

2.5.1 Общие положения

2.5.1.1 Внутренний корпус и продольные переборки, как правило, должны иметь продольные шпангоуты и быть плоскими. Гофрированные переборки должны соответствовать требованиям, указанным в *2.5.6.*

2.5.1.2 В случае, если сквозь переборки проходит грузовой или балластный трубопровод, конструкции, находящиеся в данном районе, должны быть адекватны нагрузкам на переборки под действием гидравлических сил в трубопроводах.

2.5.2 Обшивка продольных переборок границ танка

2.5.2.1 Толщина обшивки продольных переборок границ танка должна соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.4.*

2.5.2.2 Внутренний корпус и продольные переборки должны продлеваться в нос и в корму, насколько это практически возможно, и быть эффективно соединены в косой замок со смежными конструкциями.

2.5.3 Конструкция скулового борта

2.5.3.1 Изломы в обшивке скулового танка должны опираться на днищевые стрингеры и стрингеры, или продольные балки рамного набора.

2.5.4 Обшивка поперечных переборок границ танка

2.5.4.1 Толщина обшивки поперечных переборок границ танка должна соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.4*.

2.5.5 Ребра жесткости переборки границ танка

2.5.5.1 Момент сопротивления сечения и толщина балок ребер жесткости на продольных или поперечных переборках границ танков должны соответствовать требованиям, указанным в *табл. 8.2.5* и *8.2.6*.

2.5.6 Гофрированные переборки в грузовых танках

2.5.6.1 Размеры связей корпуса в отношении гофрированных переборок, указанных в *2.5.6* и *2.5.7*, представляют собой требования к размерам связей корпуса нетто. Требования к полным размерам связей корпуса получаются на основании соответствующих требований путем добавления полных прибавок на коррозию, указанных в *разделе 6/3*.

2.5.6.2 Как правило, гофрированные переборки должны быть спроектированы с углами расположения гофров, φ, лежащими в диапазоне от 55 до 90 градусов, см. *рис. 8.2.3*.

2.5.6.3 Общая прочность гофрированных переборок, нижних и верхних опор, где они установлены, и креплений к соседним конструкциям должна быть проверена на соответствие с помощью модели метода конечных элементов грузового танка, см. *раздел 9/2*. Общая прочность гофрированных переборок, расположенных за пределами района миделя судна, следует рассматривать на основании результатов, полученных при использовании модели метода конечных элементов грузового танка с использованием подходящего для рассматриваемой переборки давления. Может возникнуть необходимость в проведении дополнительного анализа переборок грузовых танков в корму и в нос от района миделя судна при помощи метода конечных элементов, если геометрия переборок, элементы конструкции и поддерживающих устройств значительно отличаются от аналогичных элементов переборок, расположенных в районе грузовых танков на миделе судна.

2.5.6.4 Толщины нетто, t_{net}, стенки и свободного пояска гофрированных переборок должны приниматься равными наибольшему расчетному значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7* и следующей формуле:

$$t_{net} = 0{,}0158\, b_p \sqrt{\frac{|P|}{C_a \sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке приложения нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1*, кН/м^2;

b_p ширина листа:

$= b_f$ для обшивки фланца, мм. См. *рис. 8.2.3;*

$= b_w$ для обшивки стенки, мм. См. *рис. 8.2.3;*

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе:

$= 0{,}75$ для совокупности критериев приемлемости АС1;

$= 0{,}90$ для совокупности критериев приемлемости АС2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.5.6.5 В случае, если толщины фланца и обшивки стенки отличаются, следует взять большую толщину обшивки нетто, $t_{m\text{-}net}$, в качестве наибольшего расчетного значения для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7*, и рассчитывать по следующей формуле:

$$t_{m\text{-}net} = \sqrt{\frac{0{,}0005\, b_p^2 |P|}{C_a \sigma_{yd}} - t_{n\text{-}net}^2} \text{ мм},$$

где $t_{n\text{-}net}$ толщина нетто более тонкой обшивки, или фланца, или стенки, мм;
b_p ширина более толстого листа обшивки, или фланца, или стенки, мм;
P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке приложения нагрузки, как указано в *разделе 3/5.1*, кН/м^2;
C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе:
= 0,75 для совокупности критериев приемлемости AC1;
= 0,90 для совокупности критериев приемлемости AC2;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.5.7 Переборки с вертикальными гофрами

2.5.7.1 В дополнение к требованиям *2.5.6*, переборки с вертикальными гофрами должны также соответствовать требованиям *2.5.7*.

2.5.7.2 Толщины листов в соответствии с требованиями *2.5.7.5* и *2.5.7.6* должны поддерживаться равными до двух третей длины гофра, l_{cg}, от нижнего края, где l_{cg}, как указано в *2.5.7.3*. Кроме того, толщина обшивки может быть уменьшена на 20 %.

2.5.7.3 Толщина нетто обшивки стенки нижних 15 % длины гофра, $t_{w\text{-}net}$, должна приниматься равной наибольшему значению, рассчитанному для применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7*, и рассчитываться по следующей формуле. Данное требование не применимо к гофрированным переборкам без нижней опоры, см. *2.5.7.9*.

$$t_{w\text{-}net} = \frac{1000\,|Q_{cg}|}{d_{cg}\,C_{t\text{-}cg}\,\tau_{yd}} \text{ мм},$$

где Q_{cg} расчетная перерезывающая сила, прилагаемая к обшивке стенки на нижней кромке гофра

$$= \frac{s_{cg}\,l_{cg}\,|3P_l + P_u|}{8000} \text{ кН};$$

P_l расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное на нижней кромке гофра, кН/м^2;
P_u расчетные давления для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного на верхней кромке гофра, кН/м^2;
s_{cg} расстояние между гофрами, мм. См. *рис. 8.2.3;*
l_{cg} длина гофра, определяемая как расстояние между нижней опорой и верхней опорой или верхней кромкой, на которой не установлена верхняя опора, м, см. *рис. 8.2.3;*
d_{cg} глубина гофра, мм. См. *2.5.7.4* и *рис. 8.2.3;*
$C_{t\text{-}cg}$ коэффициент допустимого усилия сдвига:
= 0,75 для совокупности критериев приемлемости AC1;
= 0,90 для совокупности критериев приемлемости AC2;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.5.7.4 Глубина гофра, d_{cg}, должна быть не менее чем:

$$d_{cg} = \frac{1000\,l_{cg}}{15} \text{ мм},$$

где l_{cg} длина гофра, определяемая как расстояние между нижней опорой и верхней опорой или верхней кромкой, на которой не установлена верхняя опора, м, см. *рис. 8.2.3*.

2.5.7.5 Толщины нетто фланцев гофрированных переборок, $t_{f\text{-}net}$, должны приниматься равными наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7*, и рассчитываться по следующей формуле. Данное требование не применимо к гофрированным переборкам без нижней опоры, см. *2.5.7.9*.

$$t_{f\text{-}net} = \frac{0{,}00657 b_f \sqrt{\sigma_{bdg\text{-}max}}}{C_f} \text{ мм,}$$

где $\sigma_{bdg\text{-}max}$ максимальное значение вертикальных напряжений при изгибе на фланце. Напряжение при изгибе рассчитывается по нижней кромке и посередине расстояния между гофрами по следующей формуле:

$$= \frac{1000 M_{cg}}{Z_{cg\text{-}act\text{-}net}} \text{ Н/мм}^2;$$

M_{cg} как указано в *2.5.7.6;*

$Z_{cg\text{-}act\text{-}net}$ фактический момент сопротивления сечения нетто по нижней кромке и на половине длины гофра, см^3;

b_f ширина обшивки фланца, мм. См. *рис. 8.2.3;*

b_w ширина обшивки стенки, мм. См. *рис. 8.2.3;*

C_f коэффициент

$$= 7{,}65 - 0{,}26 \left(\frac{b_w}{b_f} \right)^2.$$

2.5.7.6 Момент сопротивления сечения нетто на нижней и верхней кромках гофра и посередине длины гофра ($l_{cg}/2$) при единичном гофре, $Z_{cg\text{-}net}$, должен приниматься равным наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7*, и рассчитываться по следующей формуле. Данное требование не применимо к гофрированным переборкам без нижней опоры, см. *2.5.7.9*.

$$Z_{cg\text{-}cg\text{-}net} = \frac{1000 M_{cg}}{C_{s\text{-}cg} \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где $M_{cg} = \frac{C_i |P| s_{cg} l_0^2}{12000}$ кНм;

$$P = \frac{P_u + P_l}{2} \text{ кН/м}^2;$$

P_l, P_u расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное на нижней и верхней кромках гофра соответственно, кН/м^2:

а) для переборок с поперечными гофрами значения давления следует рассчитывать в сечении, расположенном на расстоянии $b_{tk}/2$ от продольных переборок каждого танка;

б) для переборок с продольными гофрами значения давления следует рассчитывать на концах танка, то есть пересечении носовых и кормовых поперечных переборок и продольной переборки;

b_{tk} максимальная ширина рассматриваемого танка, измеренная на переборке, м;

s_{cg} расстояние между гофрами, мм. См. *рис. 8.2.3;*

l_0 эффективная дина изгиба гофра, измеренная от половины глубины нижней опоры до половины глубины верхней опоры, или верхней кромки в том месте, где не установлена верхняя опора, м;

l_{cg} длина гофра, определяемая как расстояние между нижней опорой и верхней опорой или верхней кромкой, если не установлена верхняя опора, м;

C_i соответствующие коэффициенты изгибающего момента, как указано в *табл. 8.2.34*

$C_{s\text{-}cg}$ коэффициент допустимого напряжения при изгибе

на половине длины гофра, l_{cg}:

= c_e, но не более 0,75 для совокупности критериев приемлемости АС1;

= c_e, но не более 0,90 для совокупности критериев приемлемости АС2;

на нижней и верхней кромках длины гофра, l_{cg}:

= 0,75 для совокупности критериев приемлемости АС1;

= 0,90 для совокупности критериев приемлемости АС2;

c_e = $2{,}25/\beta - 1{,}25/\beta^2$ для $\beta \geq 1{,}25$;

= 1,0 для $\beta < 1{,}25$;

$$= \frac{b_f}{t_{f\text{-}net}} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{E}};$$

b_f ширина обшивки фланца, мм, см. *рис. 8.2.3;*

$t_{f\text{-}net}$ толщина нетто фланца гофра, мм;

E модуль упругости, Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.2.3

Значения C_i

Переборка	На нижней кромке l_{cg}	На половине длины l_{cg}	На верхней кромке l_{cg}
Поперечная переборка	C_1	C_{m1}	$0{,}80\,C_{m1}$
Продольная переборка	C_3	C_{m3}	$0{,}65\,C_{m3}$

где $C_1 = a_1 + b_1\sqrt{\dfrac{A_{dt}}{b_{dk}}}$, но не менее 0,60;

$a_1 = 0{,}95 - \dfrac{0{,}41}{R_{bt}}$;

$b_1 = -0{,}20 + \dfrac{0{,}078}{R_{bt}}$;

$C_{m1} = a_{m1} + b_{m1}\sqrt{\dfrac{A_{dt}}{b_{dk}}}$, но не менее 0,55;

$a_{m1} = 0{,}63 + \dfrac{0{,}25}{R_{bt}}$;

$b_{m1} = -0{,}25 - \dfrac{0{,}11}{R_{bt}}$;

$C_3 = a_3 + b_3\sqrt{\dfrac{A_{dl}}{l_{dk}}}$, но не менее 0,60;

$a_3 = 0{,}86 - \dfrac{0{,}35}{R_{bl}}$;

$b_3 = -0{,}17 + \dfrac{0{,}10}{R_{bl}}$;

$C_{m3} = a_{m3} + b_{m3}\sqrt{\dfrac{A_{dl}}{l_{dk}}}$, но не менее 0,55;

$a_{m3} = 0{,}32 + \dfrac{0{,}24}{R_{bl}}$;

$b_{m3} = -0{,}12 - \dfrac{0{,}10}{R_{bl}}$;

$R_{bt} = \dfrac{A_{bt}}{b_{ib}}\left(1 + \dfrac{l_{ib}}{b_{ib}}\right)\left(1 + \dfrac{b_{av\text{-}t}}{h_{st}}\right)$ для поперечных переборок;

$R_{bt} = \dfrac{A_{bl}}{l_{ib}}\left(1 + \dfrac{l_{ib}}{b_{ib}}\right)\left(1 + \dfrac{b_{av\text{-}l}}{h_{sl}}\right)$ для продольных переборок;

A_{dt} площадь поперечного сечения, ограниченная теоретическими линиями верхней опоры под поперечной переборкой, м^2
= 0 если не установлена верхняя опора;

A_{dl} площадь поперечного сечения, ограниченная теоретическими линиями верхней опоры под продольной переборкой, м^2
= 0 если не установлена верхняя опора;

A_{bt} площадь поперечного сечения, ограниченная теоретическими линиями нижней опоры под поперечной переборкой, м^2
= 0 если не установлена верхняя опора;

A_{bl} площадь поперечного сечения, ограниченная теоретическими линиями нижней опоры под продольной переборкой, м^2;
= 0 если не установлена верхняя опора;
$b_{av\text{-}t}$ средняя ширина нижней опоры под поперечной переборкой, м. См. *рис. 8.2.3*;
$b_{av\text{-}l}$ средняя ширина нижней опоры под продольной переборкой, м. См. *рис. 8.2.3*;
h_{st} высота нижней опоры под поперечной переборкой, м. См. *рис. 8.2.3*;
h_{sl} высота нижней опоры под продольной переборкой, м. См. *рис. 8.2.3*;
b_{ib} ширина грузового танка на уровне второго дна между скуловыми цистернами или между скуловой цистерной и нижней опорой в диаметральной плоскости, м. См. *рис. 8.2.3*;
b_{dk} ширина грузового танка на уровне палубы между верхними бортовыми цистернами или между верхней бортовой цистерной и палубным ящиком в диаметральной плоскости, или между фланцами гофров, если не установлена верхняя опора, м. См. *рис. 8.2.3*;
l_{ib} длина грузового танка на уровне второго дна между нижними опорами под поперечными переборками, м. См. *рис. 8.2.3*;
l_{dk} длина грузового танка на уровне палубы между верхними опорами под поперечными переборками или между фланцами гофров, если не установлена верхняя опора, м. См. *рис. 8.2.3*.

2.5.7.7 Для танков с эффективной шириной действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, b_{slh}, большей чем $0{,}56B$, или эффективной длиной действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, l_{shr}, большей чем $0{,}13L$, следует выполнить дополнительный анализ нагрузки от ударов жидкости о стенки танка для оценки момента сопротивления сечения единичного гофра в соответствии с требованиями конкретного классификационного общества.

2.5.7.8 Для судов с шириной, равной или больше 16 м, см. *раздел 4/1.1.4*, должна быть установлена опора в соответствии со следующими требованиями:

а) общее:

- высота и глубина не должны быть меньше высоты гофра;
- нижняя опора должна быть установлена в одной плоскости с флорами или балками двойного дна;
- бортовые стрингеры и вертикальные стойки (диафрагмы), являющие частью конструкции опоры, должны находиться, насколько это практически возможно, на одной оси с нижележащей конструкцией для обеспечения передачи нагрузки на конструкции двойного дна;

б) обшивка верхней части опоры:

- толщина нетто верхнего листа опоры должна быть не менее чем требуется для присоединенной гофрированной переборки и иметь, как минимум, такой же предел текучести материала, что и присоединенная переборка;
- протяженность верхнего листа над гофрами должна быть не менее построечной толщины фланца гофра;

в) обшивка боковой части опоры и внутренняя конструкция:

- в пределах высоты гофра от верхнего листа опоры толщина нетто бокового листа опоры должна составлять не менее 90 % от требуемой *2.5.7.2* для фланца гофрированной переборки на нижнем конце и иметь, как минимум, такой же предел текучести материала;
- толщина нетто обшивки боковой части опоры и момент сопротивления сечения нетто ребер жесткости боковой части опоры должны быть не менее чем требуется *2.5.2, 2.5.4* и *2.5.5* для обшивки и ребер жесткости поперечных и продольных переборок;
- концы вертикальных ребер жесткости боковой части опоры должны быть прикреплены к бракетам, установленным на верхнем и нижнем концах опоры;
- насколько это практически возможно, должна поддерживаться непрерывность между стенкой гофра и подкрепляющими кницами внутри опоры. Толщина нетто бракет должна составлять не менее 80 % от требуемой толщины стенок гофров, и иметь, как минимум, такой же предел текучести материала;
- дугообразные вырезы в диафрагмах в районе соединений боковых частей опор со вторым дном и верхним листом опоры не допускаются.

2.5.7.9 Для судов с шириной меньше 16 м, см. *раздел 4/1.1.4*, нижняя опора может не устанавливаться, при условии, что выполняются следующие требования:

а) общее:

- флоры или балки двойного дна должны быть установлены в одной плоскости с фланцами гофров поперечных или продольных переборок соответственно;
- бракеты/карлингсы должны быть установлены под вторым дном и скуловой цистерной в одной плоскости со стенками гофров. Где это практически невозможно, должны быть установлены гассетные и шедерные листы, см. *в)*, приведенный ниже, и *рис. 8.2.3;*
- гофрированная переборка и ее опорная конструкция должны быть оценены при помощи метода конечных элементов в соответствии с *разделом 9/2*. Кроме того, должны применяться требования к размерам местных связей, указанные в *2.5.6.4* и *2.5.6.5*, и требования к минимальной высоте гофра, указанные в *2.5.7.4*;

б) обшивка второго дна и скуловой цистерны:

- толщина нетто второго дна и скуловой цистерны в районе гофров должна быть не менее толщины нетто присоединенной гофрированной переборки и иметь, как минимум, такой же предел текучести материала, что и присоединенная переборка;

в) опорная конструкция:

- в пределах высоты гофров под вторым дном толщина нетто опорных флоров или балок двойного дна должна быть не менее толщины нетто фланца на нижнем конце гофрированной переборки и иметь, как минимум, такой же предел текучести материала;
- верхние концы вертикальных ребер жесткости опорных флоров или балок двойного дна должны прикрепляться к смежной конструкции при помощи бракет;
- бракеты/карлингсы, расположенные в одной плоскости со стенкой гофра, должны иметь высоту не менее 0,5 высоты гофра, а толщина нетто должна составлять не менее 80 % от толщины нетто стенок гофров и иметь такой же предел текучести материала;
- вырезы для ребер жесткости в районе опорных флоров и балок двойного дна, расположенных в одной плоскости фланцами гофров, должны быть установлены с полными планками;
- если в качестве опоры используются кницы с шедерными листами, высота гассетного листа, см. h_g на *рис. 8.2.3*, должна быть, как минимум, равна высоте гофра, а кницы с шедерными листами должны быть установлены на каждом гофре. Гассетные листы должны быть установлены в одной плоскости и между фланцами гофров. Толщина нетто кницы и шедерных листов должна составлять не менее 100 % и 80 % от толщины нетто фланцев гофров соответственно и должна иметь такой же предел текучести материала. Также см. *2.5.7.11*;
- дугообразные вырезы в бракетах, гассетных листах и шедерных листах в районе соединений со вторым дном или фланцем гофра и стенкой не допускаются.

2.5.7.10 Как правило, верхняя опора должна быть установлена в соответствии со следующими требованиями:

а) общее:

- если верхняя опора не установлена, должен быть выполнен анализ методом конечных элементов для подтверждения соответствия деталей и расположения опорной конструкции переборки конструкции верхней палубы;
- бортовые ребра жесткости и вертикальные стойки (диафрагмы), являющие частью конструкции опоры, должны находиться, насколько это практически возможно, на одной оси со смежной конструкцией для обеспечения соответствующей передачи нагрузки;
- бракеты должны быть установлены в местах пересечений верхней опоры и конструкции палубы;

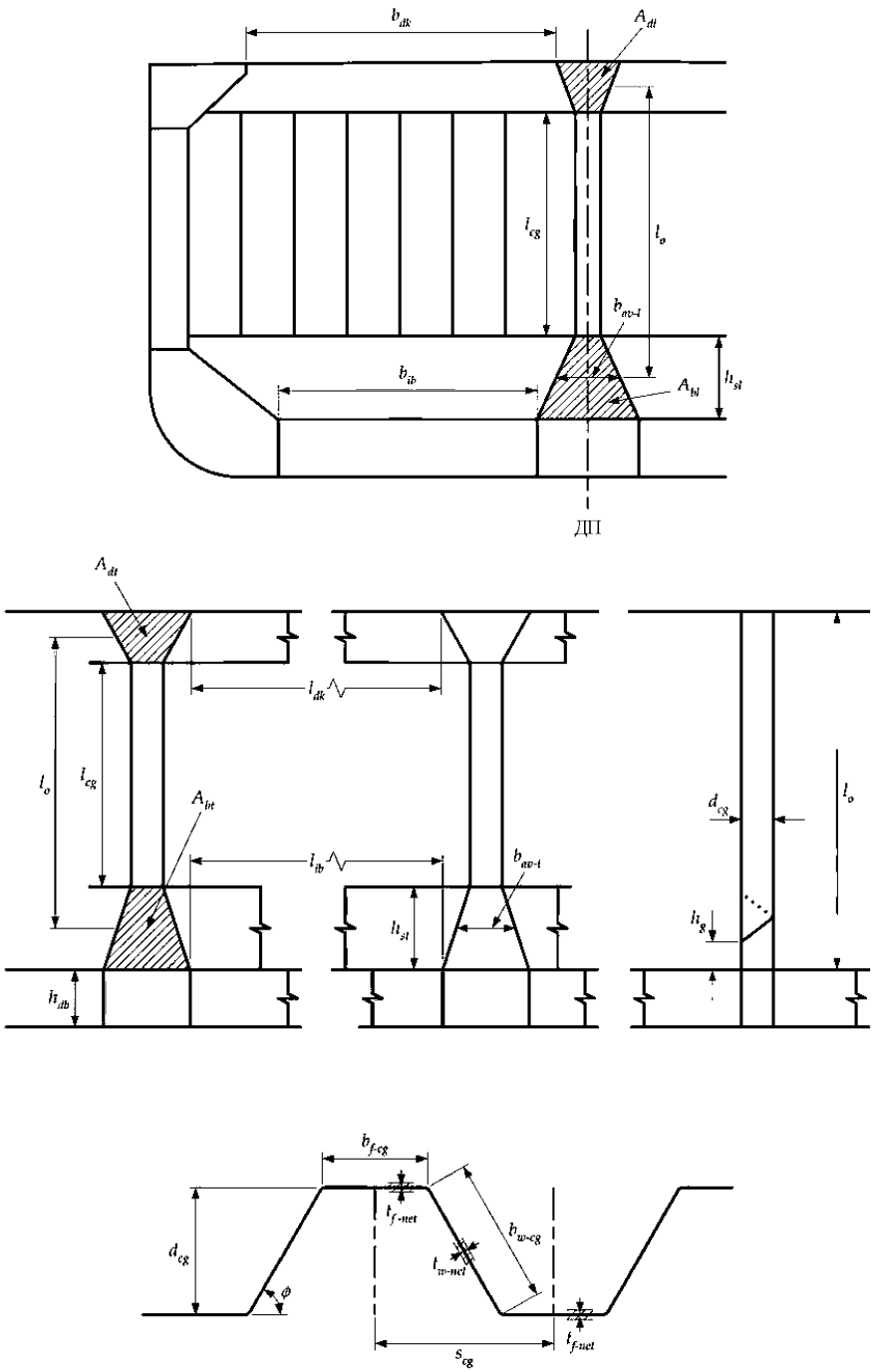
б) обшивка нижней части опоры:

- толщина нетто нижнего листа опоры должна быть не менее чем требуется для присоединенной гофрированной переборки и иметь такой предел текучести материала, что и присоединенный гофр;
- протяженность нижнего листа под гофрами должна быть не менее построечной толщины присоединенного фланца;

в) обшивка боковой части опоры и внутренняя конструкция:

- в пределах высоты гофра над нижним листом опоры толщина нетто бокового листа опоры должна составлять не менее 80 % от требуемой *2.5.7.2* для фланца гофрированной переборки на верхнем конце, где используется такой же материал. Если используется материал, имеющий другой предел текучести, требуемая толщина должна быть откорректирована при помощи соотношения двух коэффициентов материала (k). k, как указано в *разделе 6/1.1.4.1*.

Рис. 8.2.3
Определение параметров гофрированной переборки
(нефтеналивные суда с продольной переборкой в диаметральной плоскости)



- толщина нетто обшивки боковой части опоры и момент сопротивления сечения нетто ребер жесткости боковой части опоры должны быть не менее чем требуется *2.5.2, 2.5.4* и *2.5.5* для обшивки и ребер жесткости поперечных и продольных переборок;
- концы вертикальных ребер жесткости боковой части опоры должны быть прикреплены к брекетам, установленным на верхнем и нижнем концах опоры;
- дугообразные вырезы в диафрагмах в районе соединений боковых частей опор с палубой и нижним листом опоры не допускаются.

2.5.7.11 Если в местах соединений концевых соединений гофров с нижней опорой или вторым дном установлены кницы с шедерными листами (наклонными листами), следует принять соответствующие меры для исключения возможности появления воздушных карманов, образованных данными листами.

2.5.8 Проницаемые переборки

2.5.8.1 Проницаемые переборки (отбойные переборки), где установлены, должны находиться в одной плоскости с поперечными стойками, переборками или аналогичными конструкциями. Они должны иметь простую конструкцию, горизонтальные или вертикальные ребра жесткости и должны соответствовать требованиям к нагрузкам от ударов жидкости о стенки танка, указанным в *6.2*. Как правило, отверстия в проницаемых переборках должны иметь большой радиус, а их общая площадь должна составлять не менее 10 % от площади переборки.

Таблица 8.2.4

Требования к толщине обшивки

Минимальная толщина нетто, t_{net}, должна приниматься равной наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7*, и рассчитываться по следующей формуле:

$$t_{net} = 0{,}0158\, a_p\, s \sqrt{\frac{|P|}{C_a \sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.1*, кН/м^2;

α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$= 1{,}2 - \dfrac{s}{2100\, l_p}$ но не более 1,0;

s как указано в *разделе 4/2.2*, мм;

l_p длина пластины, которая принимается равной расстоянию между главными несущими элементами, S, если не установлены карлингсы, м;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки

$= \beta_a - \alpha_a \dfrac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}$, но не более $C_{a\text{-}max}$.

Совокупность критериев приемлемости	Конструктивный элемент		β_a	α_a	$C_{a\text{-}max}$
АС1	Продольные элементы прочности	Обшивка с продольными ребрами жесткости	0,9	0,5	0,8
		Обшивка с поперечными или вертикальными ребрами жесткости	0,9	1,0	0,8
	Прочие элементы		0,8	0	0,8
АС2	Продольные элементы прочности	Обшивка с продольными ребрами жесткости	1,05	0,5	0,95
		Обшивка с поперечными или вертикальными ребрами жесткости	1,05	1,0	0,95
	Прочие элементы, включая водонепроницаемую ограничивающую обшивку, образующую границу танка		1,0	0	1,0

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного в точке расчета нагрузок, как указано в *разделе 3/5.1.2*

$$= \left(\frac{(z - z_{NA-net50}) M_{v-total}}{I_{v-net50}} - \frac{y M_{h-total}}{I_{h-net50}} \right) 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2;$$

$M_{v\text{-}total}$ расчетный вертикальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кНм. Изгибающий момент на тихой воде, $M_{sw\text{-}perm}$, следует брать с тем же знаком, что и одновременно действующий волновой изгибающий момент, M_{wv}, см. *табл. 7.6.1;*

$M_{h\text{-}total}$ расчетный горизонтальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кНм;

$I_{v\text{-}net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

$I_{h\text{-}net50}$ горизонтальный момент инерции нетто эквивалентного бруса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.2*, м^4;

y поперечная координата точки расчета нагрузки, м;

z вертикальная координата рассматриваемой точки расчета нагрузки, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м.

Таблица 8.2.5

Требования к моменту сопротивления сечения ребер жесткости

Минимальный момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, должен приниматься равным наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *таблице 8.2.7,* и рассчитываться по формуле:

$$Z_{net} = \frac{|P| s l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \quad \text{см}^3,$$

Продолжение табл. 8.2.5

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.2*, кН/м^2;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента:

для непрерывных ребер жесткости, а также районов, где концевые соединения установлены в соответствии с идеализацией ребра жесткости, как имеющего закрепленные концы:

= 12 для горизонтальных ребер жесткости;

= 10 для вертикальных ребер жесткости;

в отношении ребер жесткости с уменьшенным закреплением концов, см. *подраздел 7;*

l_{bdg} эффективный пролет при изгибе, м, как указано в *разделе 4/2.1.1;*

s как указано в *разделе 4/2.2*, мм;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, см. также *раздел 3/5.2.6.5*, Н/мм^2;

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, следует принимать как:

Знак напряжения при изгибе эквивалентного бруса корпуса, σ_{hg}	**Действующее боковое давление**	**Критерии приемлемости**
Растяжение (+ ve)	Сторона ребра жесткости	$C_s = \beta_s - \alpha_s \dfrac{\lvert\sigma_{hg}\rvert}{\sigma_{yd}}$ но не должно приниматься более $C_{s\text{-}max}$
Сжатие (- ve)	Сторона листового элемента	
Растяжение (+ ve)	Сторона листового элемента	$C_s = C_{s\text{-}max}$
Сжатие (- ve)	Сторона ребра жесткости	

Совокупность критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	**β_a**	**α_a**	**$C_{s\text{-}max}$**
АС1	Продольные элементы прочности	0,85	1,0	0,75
	Поперечные или вертикальные элементы прочности	0,75	0	0,75
АС2	Продольные элементы прочности	1,0	1,0	0,9
	Поперечные или вертикальные элементы прочности	0,9	0	0,9
	Водонепроницаемые ребра жесткости, образующие границы танка	0,9	0	0,9

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного в точке расчета нагрузок, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*

$$= \left(\frac{(z - z_{NA-net50}) M_{v-total}}{I_{v-net50}} - \frac{y M_{h-total}}{I_{h-net50}} \right) 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2;$$

$M_{V\text{-}total}$ расчетный вертикальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кНм;

$M_{v\text{-}total}$ должен рассчитываться в соответствии с *табл. 7.6.1* с использованием допустимого изгибающего момента при перегибе или прогибе на тихой воде, $M_{sw\text{-}perm}$, и приниматься как:

Расположение ребра жесткости	$M_{sw\text{-}perm}$	
	Давление, действующее на сторону листовых элементов	**Давление, действующее на сторону ребра жесткости**
Выше нейтральной оси	Изгибающий момент при прогибе на тихой воде	Изгибающий момент при перегибе на тихой воде
Ниже нейтральной оси	Изгибающий момент при перегибе на тихой воде	Изгибающий момент при прогибе на тихой воде

$M_{h\text{-}total}$ расчетный горизонтальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, см. *табл. 7.6.1*, кНм;

$I_{v\text{-}net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

$I_{h\text{-}net50}$ горизонтальный момент инерции нетто эквивалентного бруса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.2*, м^4;

y поперечная координата точки расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*, м;

z вертикальная координата рассматриваемой точки расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м.

Таблица 8.2.6

Требования к толщине балок ребер жесткости

Минимальная толщина балки нетто, $t_{w\text{-}net}$, должна приниматься равной наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.7,* и рассчитываться по формуле:

$$t_{w-net} = \frac{f_{shr}|P|\,s\,l_{shr}}{d_{shr}C_t\tau_{yd}} \text{ мм}^3,$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.1*, кН/м^2;

f_{shr} коэффициент распределения перерезывающей силы:
для непрерывных ребер жесткости, а также районов, где концевые соединения установлены в соответствии с идеализацией ребра жесткости, как имеющего закрепленные концы:
= 0,5 для горизонтальных ребер жесткости;
= 0,7 для вертикальных ребер жесткости;
в отношении ребер жесткости с уменьшенным закреплением концов, см. *подраздел 7;*

d_{shr} как указано в *разделе 4/2.4.2.2*, мм;

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, следует принимать равным:
= 0,75 для совокупности критериев приемлемости АС1;
= 0,9 для совокупности критериев приемлемости АС2;

s как указано в *разделе 4/2.2,* мм;

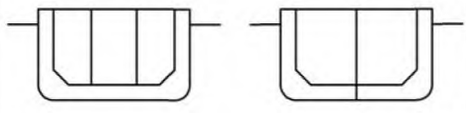
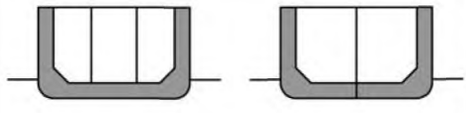
l_{shr} эффективный пролет при сдвиге, м, см. *раздел 4/2.1.2;*

$\tau_{yd} = \dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ Н/мм^2;

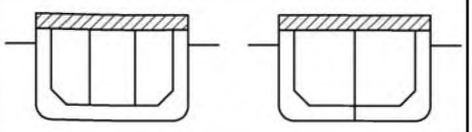
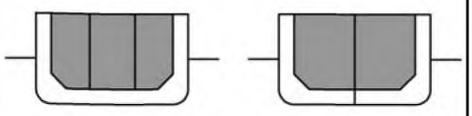
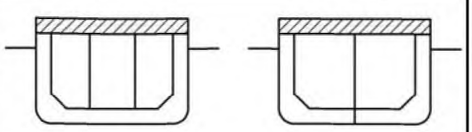
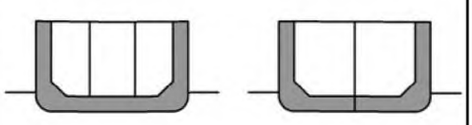
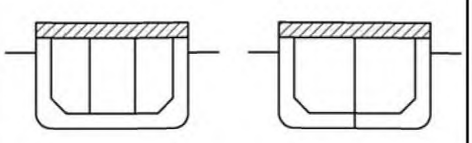
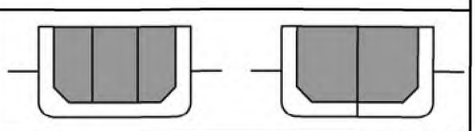
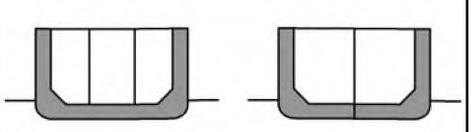
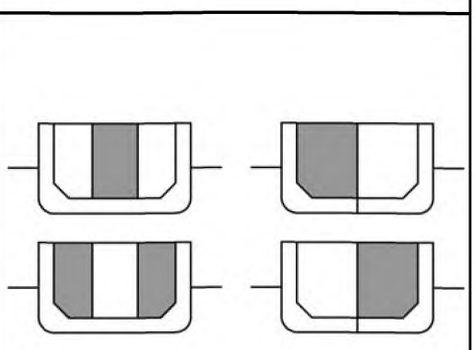
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

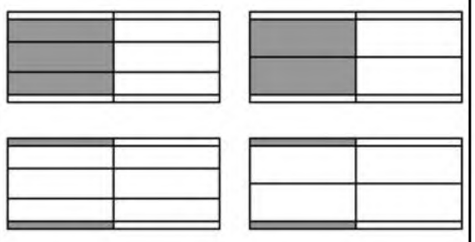
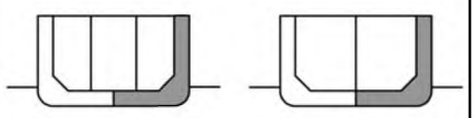
Таблица 8.2.7

Варианты расчетной нагрузки для обшивки и элементов основного набора

Конструктивный элемент	**Вариант расчетной нагрузки (1, 2, 3)**	**Составляющая нагрузки**	**Осадка**	**Примечание**	**Графическое представление**
1	2	3	4	5	6
Киль, днищевая обшивка, скула, бортовая обшивка, ширстрек	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление забортной воды	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	7	$P_{in} - P_{ex}$	T_{bal}	Разность давлений нетто между давлением водяного балласта и давлением забортной воды	
	8	$P_{in} - P_{ex}$	$0{,}25\,T_{sc}$		

Продолжение табл. 8.2.7

1		2	3	4	5	6
Палуба	В районе грузовых танков	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление при заливании палубы	
		3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Только давление груза	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
	В районе прочих цистерн	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление при заливании палубы или другие нагрузки на палубу	
		5	P_{in}	T_{bal}	Только давление водяного балласта или других жидкостей	
		6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
	Любое расположение	9	P_{dk}	T_{bal}	Только распределенные или концентрированные нагрузки. Одновременно возникающее давление при заливании палубы может не учитываться	
		10	P_{dk}	–		
Второе дно, внутренний корпус, район скуловых цистерн		3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Только давление груза	
		4	P_{in}	–		
		5	P_{in}	T_{bal}	Только давление водяного балласта или других жидкостей	
		6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
Продольная переборка, переборка на диаметральной плоскости		3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Давление только с одной стороны. Полный грузовой танк со смежным пустым грузовым танком. Следует оценить два случая: 1. Внутренний танк пустой, внешний полный 2. Внутренний танк полный, внешний пустой	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

1		2	3	4	5	6
Поперечная переборка	В районе грузовых танков	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Давление только с одной стороны. Полный грузовой танк со смежным пустым носовым или кормовым грузовым танком. Следует оценить два случая: 1. Носовой танк пустой, кормовой полный 2. Носовой танк полный, кормовой пустой	
		4	P_{in}	–		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
	В районе прочих цистерн	5	P_{in}	T_{bal}		
		6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
Прочие границы цистерн, например, балки, флоры, стрингеры		5	P_{in}	T_{bal}	Давление только с одной стороны. Полная цистерна со смежной пустой цистерной. Следует оценить 2 случая, см. выше	
		6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
		11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

где T_{sc} осадка размеров связей корпуса, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
T_{bal} минимальная расчетная осадка судна в балласте, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.2*.

Примечания:

1. Спецификация вариантов расчетной нагрузки, составляющих нагрузки, критериев приемлемости и других параметров нагрузки для каждого варианта расчетной нагрузки указаны в *табл. 8.2.8*.

2. В случае, когда конфигурация судна не может быть описана при помощи вышеприведенных данных, необходимо выбрать применимые варианты расчетной нагрузки для определения требований к размерам связей корпуса границ конструкции таким образом, чтобы задать параметры полного танка с одной стороны при пустом смежном танке или пространстве. Границу следует оценивать с точки зрения нагрузки с обеих сторон. Варианты расчетной нагрузки следует выбирать на основании содержимого танка или пространства таким образом, чтобы максимизировать давление на границу конструкции; используемую осадку следует принимать в соответствии с вариантом расчетной нагрузки и данной таблицей. Следует выбирать варианты расчетной нагрузки, включающие сочетания расчетных нагрузок S и $S + D$. См. примечание 4 и *табл. 8.2.8*.

3. Границы пустого и сухого пространства, не являющиеся частью наружной обшивки корпуса, следует оценивать с помощью варианта расчетной нагрузки 11. См. примечание 2.

4. Варианты расчетной нагрузки для некоторых конструктивных элементов могут не входить в вышеописанные варианты:

Для границ цистерны для сточных вод с грузовым танком:

• варианты расчетной нагрузки 5, 6 и 11 следует применять для давления со стороны цистерны водяного балласта;

• варианты расчетной нагрузки 3, 4 и 11 – для давления со стороны грузового танка.

Для балки двойного дна, разделяющей две цистерны водяного балласта или разделяющей цистерну водяного балласта и топливную цистерну:

• варианты расчетной нагрузки 5, 6 и 11 следует применять для давления с каждой стороны по очереди.

Для границы опорного пустого пространства и смежного грузового танка:

• варианты расчетной нагрузки 3, 4 и 11 для давления со стороны грузового танка;

• вариант расчетной нагрузки 11 для давления со стороны пустого пространства.

Таблица 8.2.8

Технические характеристики сочетания расчетных нагрузок, критериев приемлемости и других параметров нагрузки для каждого варианта расчетной нагрузки

Вариант расчетной нагрузки	**Составляющая нагрузки (1)**	**Сочетание расчетных нагрузок (2)**	**Критерии приемлемости**	**Параметры для расчета составляющих нагрузки**		
				***DLCF* (3)**	**GM**	$r_{roll-gyr}$
Наружная обшивка (*PSM*) и (*LSM*)						
1	Давление забортной воды P_{ex}	$S+D$	AC2	**В грузу *DLCF***	$0{,}12B$	$0{,}35B$
2		S	AC1			
Границы грузового танка (*PSM*) и (*LSM*)						
3	Давление груза P_{in}	$S+D$	AC2	**В грузу DLCF**	$0{,}24B$	$0{,}40B$
4		S	AC1			
Границы цистерн водяного балласта и прочих цистерн (*PSM*) и (*LSM*)						
5	Давление водяного балласта или других жидкостей в цистерне P_{in}	$S+D$	AC2	**В балласте *DLCF***	$0{,}33B$	$0{,}45B$
6		S	AC1			
7	Давление нетто водяного балласта минус давление забортной воды $P_{in}-P_{ex}$	$S+D$	AC2	**В балласте *DLCF***	$0{,}33B$	$0{,}45B$
8		S	AC1			
Палубы (*LSM*) и (*PSM*)						
9	Распределенные и концентрированные нагрузки на палубу P_{dk}	$S+D$	AC2	**В балласте *DLCF***	$0{,}33B$	$0{,}45B$
10		S	AC1			
Водонепроницаемые границы (*LSM*) и (*PSM*)						
11	Случайное затопление $P_{in-flood}$	A	AC2			
Наружная обшивка корпуса (*PSM*)						
12	Давление груза нетто минус давление забортной воды $P_{in}-P_{ex}$	$S+D$	AC2	**В грузу *DLCF***	$0{,}24B$	$0{,}40B$
13		S	AC1			
14	Среднее давление груза и давление забортной воды $(P_{in}+P_{ex})/2$	$S+D$	AC2	**В грузу *DLCF***	$0{,}12B$	$0{,}35B$
15		$S+D$	AC2	**В грузу *DLCF***	$0{,}24B$	$0{,}40B$
16		S	AC1			

где *PSM* главные несущие элементы;
LSM элементы основного набора;
DLCF коэффициенты сочетаний динамических нагрузок;
P_{in} P_{ex} P_{dk} $P_{in\text{-}flood}$ как указано в *табл. 7.6.1* и как показано в *табл. 8.2.7* или *8.2.9*;
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1.*

Примечания:

1. Конструктивные элементы должны быть спроектированы с использованием всех применимых вариантов расчетной нагрузки. В данной таблице указаны составляющие сжимающей нагрузки варианта расчетной нагрузки. Изгибающие моменты эквивалентного бруса указаны в *табл. 8.2.4* и *8.2.5* для элементов основного набора.

2. В данной графе указано, какая графа таблицы сочетания расчетных нагрузок должна быть использована для каждого варианта расчетной нагрузки, см. *таблицу 7.6.1*. Там, где *S* означает сочетание статических расчетных нагрузок, *S+D* означает сочетание статических и динамических расчетных нагрузок, а *A* означает случайное сочетание расчетных нагрузок.

3. В данной графе указано, какая графа таблицы коэффициентов сочетания динамических нагрузки должна быть использована для определения отклонения составляющих давления и общей нагрузки, см. *табл. 7.6.1.*

2.6 Главные несущие элементы

2.6.1 Общие положения

2.6.1.1 Следующие требования относятся к определению размеров главных несущих элементов в районе грузовых танков на протяженностях, показанных на *рис. 8.2.4.*

2.6.1.2 Критерии момента сопротивления сечения и площади сдвига для главных несущих элементов, указанных в *2.6*, применяются к конфигурациям конструкции, показанным на *рис. 2.3.1,* и следующим конструктивным элементам:

а) флорам и балкам двойного дна;
б) рамным бимсам палуб, закрепленным ниже верхней палубы;
в) рамным бимсам борта, являющимся частью конструкции двойного борта;
г) вертикальным рамным шпангоутам продольных переборок с распорками или без распорок;
д) горизонтальным стрингерам поперечных переборок, за исключением тех, которые закреплены при помощи подпорок или других промежуточных опор; и
е) распоркам в бортовых грузовых танках и центральных грузовых танках.

Критерии момента сопротивления сечения и площади сдвига для главных несущих элементов конфигураций конструкции, отличающихся от вышеуказанных, должны быть получены при помощи расчетов, как описано в *разделе 8/7.*

2.6.1.3 Размеры главных несущих элементов следует проверять при помощи анализа конструкции грузовых танков методом конечных элементов, как указано в *разделе 9/2.*

2.6.1.4 Момент сопротивления сечения и/или площадь сдвига для главного несущего элемента и/или площадь поперечного сечения распорки главного несущего элемента могут быть уменьшены на 85 % от предписанных требований при условии, что уменьшенные размеры связей корпуса соответствуют анализу конструкции грузового танка по методу конечных элементов и требованиям *2.1.6.*

2.6.1.5 В общем, главные несущие элементы должны располагаться в одной плоскости для формирования непрерывных поперечных колец. Бракеты, формирующие соединения между главными несущими элементами кольца, должны быть спроектированы в соответствии с *разделом 4/3.3.3.*

2.6.1.6 Стенки главных несущих элементов должны иметь ребра жесткости в соответствии с *разделом 10/2.3.*

2.6.1.7 Стенки главных несущих элементов должны иметь глубину не меньше, чем предписанная требованиями *2.6.4.1*, *2.6.6.1* и *2.6.7.1*, как применимо. В случаях, когда будет продемонстрирована достаточная жесткость, могут быть приняты меньшие глубины. Главные несущие элементы с открытыми пазами для ребер жесткости должны иметь глубину не менее 2,5 глубины пазов.

2.6.2 Варианты расчетной нагрузки и коэффициенты допустимого напряжения для главных несущих элементов

2.6.2.1 Варианты расчетных нагрузок для оценки главных несущих элементов указаны в *табл. 8.2.9.*

2.6.2.2 Коэффициенты допустимых напряжений при изгибе и сдвиге для оценки главных несущих элементов указаны в *табл. 8.2.10.*

Рис. 8.2.4
Изображение применимых протяженностей

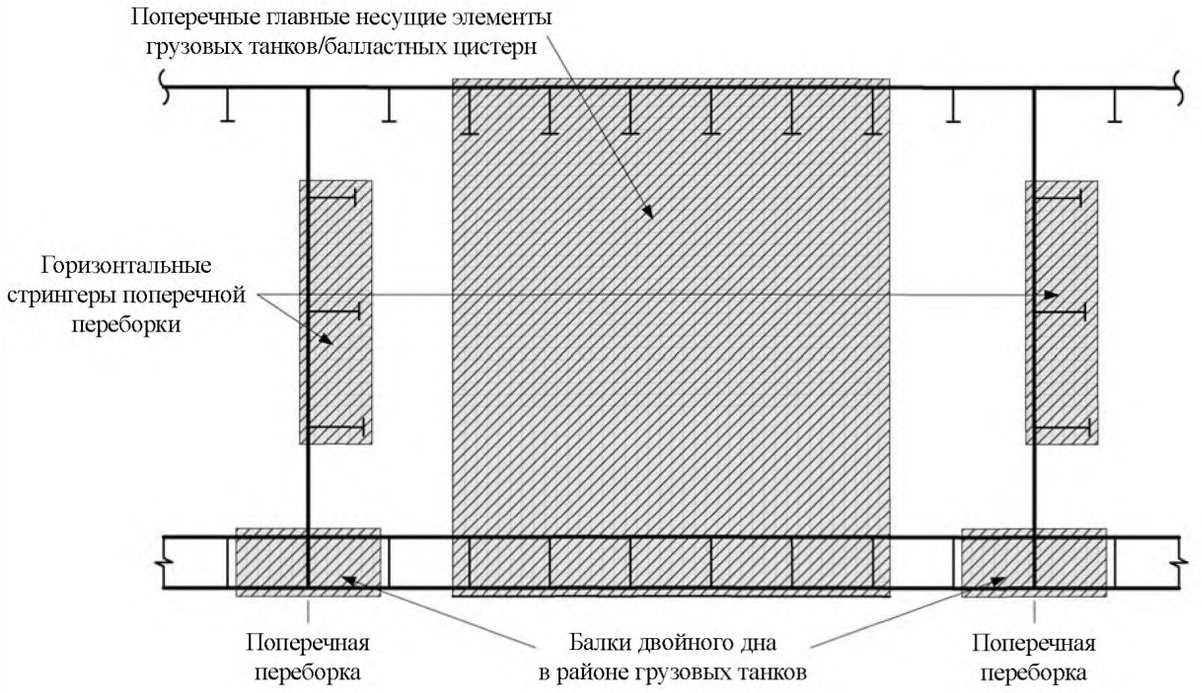
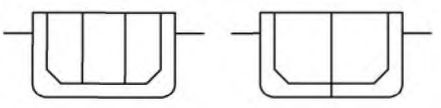
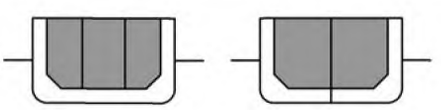
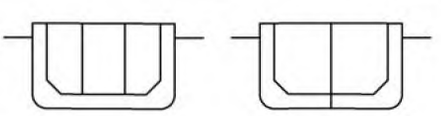
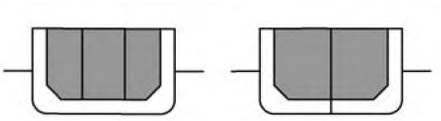
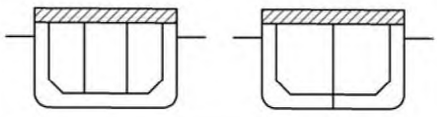
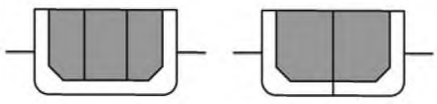
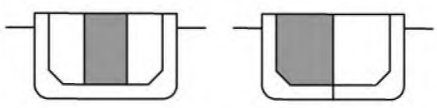
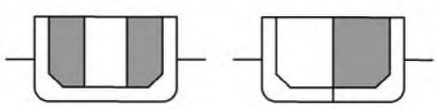
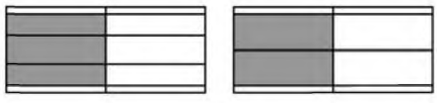
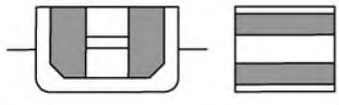
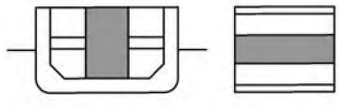


Таблица 8.2.9

Варианты расчетной нагрузки для главных несущих элементов

Конструктивный элемент	**Вариант расчетной нагрузки (1, 2, 3)**	**Составляющая нагрузки**	**Осадка**	**Примечание**	**Графическое представление**
1	2	3	4	5	6
Флоры и балки двойного дна(3)	1	P_{ex}	$0{,}9\,T_{sc}$ (2)	Только давление забортной воды	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	12	$P_{in} - P_{ex}$	$0{,}6\,T_{sc}$	Разность давлений нетто между давлением груза и давлением забортной воды	
	13	$P_{in} - P_{ex}$	(4)		
Рамные бимсы борта(3)	1	P_{ex}	$0{,}9\,T_{sc}$	Только давление забортной воды	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Только давление груза	
	4	P_{in}	–		

1	2	3	4	5	6
Рамные бимсы палуб	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление при заливании палубы или другие нагрузки на палубу	
	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Только давление груза	
	4	P_{in}	–		
Вертикальные рамные шпангоуты продольных переборок	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Давление только с одной стороны. Полный грузовой танк со смежным пустым грузовым танком.	
	4	P_{in}	–		
	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Давление только с одной стороны. Полный грузовой танк со смежным пустым грузовым танком.	
	4	P_{in}	–		
Горизонтальные стрингеры поперечной переборки	3	P_{in}	$0{,}6\,T_{sc}$	Давление только с одной стороны. Полный грузовой танк со смежным пустым носовым или кормовым грузовым танком. Следует оценить два случая: 1. Носовой танк пустой / кормовой полный. 2. Носовой танк полный / кормовой пустой	
	4	P_{in}	–		
	11	$P_{in\text{–}flood}$	–		
Распорки в центральных цистернах	3	$\frac{P_{in\text{–}pt} + P_{in\text{–}stb}}{2}$	$0{,}6\,T_{sc}$	Полные бортовые гнрузовые танки, центральный танк пустой	
	4	P_{in}	–		
Распорки в бортовых цистернах	14	$\frac{P_{in} + P_{ex}}{2}$	T_{sc}	Полный центральный танк, бортовые грузовые танки пустые	
	15	$\frac{P_{in} + P_{ex}}{2}$	$0{,}6\,T_{sc}$		
	16	$\frac{P_{in} + P_{ex}}{2}$	T_{sc}		

где $P_{in\text{-}pt}$ расчетное давление с стороны бортового грузового танка левого борта, кН /м^2;
$P_{in\text{-}stb}$ расчетное давление со стороны бортового грузового танка правого борта, кН/м^2;
T_{sc} осадка размеров связей корпуса, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5*;
T_{bal} минимальная расчетная осадка в балласте, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.2.*

Продолжение табл. 8.2.9

Примечания:

1. Спецификация варианта расчетной нагрузки, составляющие нагрузки, критерии приемлемости и другие параметры нагрузки для каждого варианта расчетной нагрузки указаны в ***табл. 8.2.8.***

2. См. *1.1.2.9 б).*

3. Значения осадки, заданные для днищевых флоров, балок и рамных бимсов борта, основываются на эксплуатационных пределах, указанных в *1.1.2*. В случае, если дополнительные условия нагрузки более жесткие, чем минимальные условия нагрузки настоящих Правил, значения осадки будут являться предметом особого рассмотрения.

4. Для нефтеналивных судов с двумя продольными нефтенепроницаемыми переборками осадку следует принимать равной $0{,}25T_{sc}$. Для нефтеналивных судов с диаметральной переборкой осадку следует принимать равной $0{,}33T_{sc}$.

5. Если конфигурация судна не может быть описана при помощи вышеперечисленных конструктивных элементов или конфигураций, следует выбрать применимые варианты расчетной нагрузки для определения требований к размерам связей корпуса таким образом, чтобы задать все применимые случаи из нижеперечисленных:

• полный танк с одной стороны конструктивного элемента и пустой танк или пространство с другой стороны

• полный танк с одной стороны конструктивного элемента при минимизированном значении внешнего давления;

• максимизированное внешнее давление при пустом смежном танке или пространстве.

Границу следует оценивать для нагрузки с обеих сторон. Варианты расчетной нагрузки следует выбирать, исходя из содержимого танка или пространства, они призваны максимизировать давление нетто на границу конструкции; используемое значение осадки следует выбирать в соответствии с вариантом расчетной нагрузки и настоящей Таблицей. Следует выбирать варианты расчетной нагрузки, включающие варианты расчетной нагрузки S и $S + D$. Также может возникнуть необходимость в использовании варианта расчетной нагрцузки 11 в зависимости от конкретной конфигурации конструкции. См. примечание 4 к *табл. 8.2.7* и *табл. 8.2.8.*

6. Для пустого или сухого пространства следует пренебречь составляющей давления со стороны пустого пространства, за исключением случая, когда необходимо применить вариант расчетной нагрузки 11.

Таблица 8.2.10

Коэффициенты допустимого напряжения, $C_{s\text{-}pr}$ и $C_{t\text{-}pr}$, для главных несущих элементов

Критерии приемлемости	Коэффициент допустимого напряжения при изгибе, $C_{s\text{-}pr}$	Коэффициент допустимого касательного напряжения, $C_{t\text{-}pr}$
AC1	0,70	0,70
AC2	0,85	0,85

2.6.3 Флоры и балки двойного дна

2.6.3.1 Непрерывные балки двойного дна должны быть расположены на диаметральной плоскости или коробчатом киле на стороне скулы и в районе продольных переборок и опор переборок. Горизонтальные флоры должны быть расположены в районе поперечных переборок и опор переборок.

2.6.3.2 Площадь сдвига нетто, $A_{shr\text{-}net50}$, флоров в любом положении на флоре должна быть не менее:

$$A_{shr-net50} = \frac{10Q}{C_{t-pr}\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q расчетная перерезывающая сила

$= f_{shr} P S l_{shr}$ кН;

f_{shr} коэффициент распределения перерезывающей силы

$$= f_{shr-i}\left(1 - \frac{2y_i}{l_{shr}}\right),$$ но не менее 0,2;

f_{shr-i} коэффициент распределения перерезывающей силы в конце пролета, l_{shr}, как указано в *табл. 8.2.11;*

l_{shr} эффективная длина сдвига флора двойного дна, м, как показано на *рис. 8.2.6.* В районе концевой бракеты эффективная длина сдвига измеряется до кромок эффективной концевой бракеты, как указано в *разделе 4/2.1.5.* В случае, если флор заканчивается на балке скулы или конструкции опоры, эффективная длина сдвига измеряется до опорного сечения, находящегося посередине расстояния от балки до смежного днища и продольной балки второго дна, как показано на *рис. 8.2.6;*

y_i расстояние от рассматриваемого поперечного сечения флора до ближайшего конца эффективной длины сдвига, l_{shr}, м;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в средней точке эффективной длины сдвига флора, l_{shr}, расположенного посередине расстояния между поперечными переборками или поперечной и отбойной переборками, где установлены, кН/м^2;

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$$ Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.2.11

Коэффициенты распределения перерезывающей силы флоров

Конфигурация конструкции	**Центральный танк (f_{shr3} на *рис. 8.2.5*)**	**Бортовой танк**	
		На конце, находящемся с внутренней стороны борта (f_{shr2} на *рис. 8.2.5*)	**На конце излома скулы (f_{shr1} на *рис. 8.2.5*)**
Суда с диаметральной продольной переборкой	–	0,4	0,6
Суда с двумя продольными переборками	0,5	0,50	0,65

Рис. 8.2.5
Коэффициенты распределения перерезывающей силы на флорах

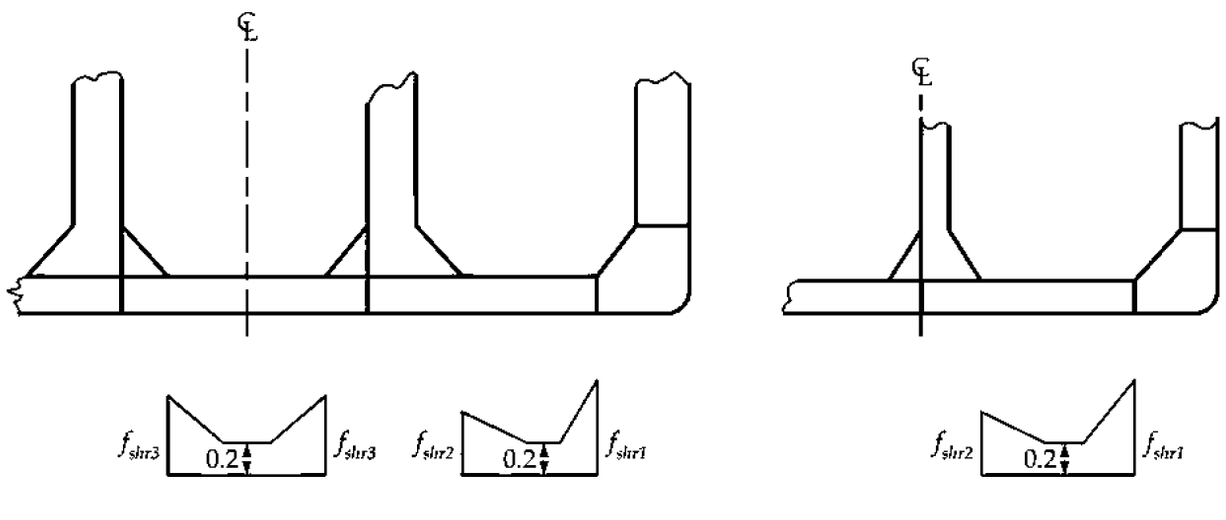
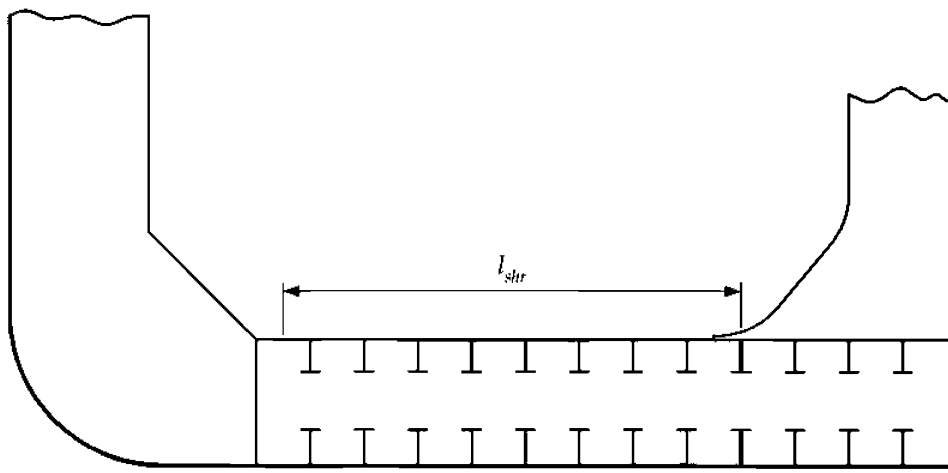
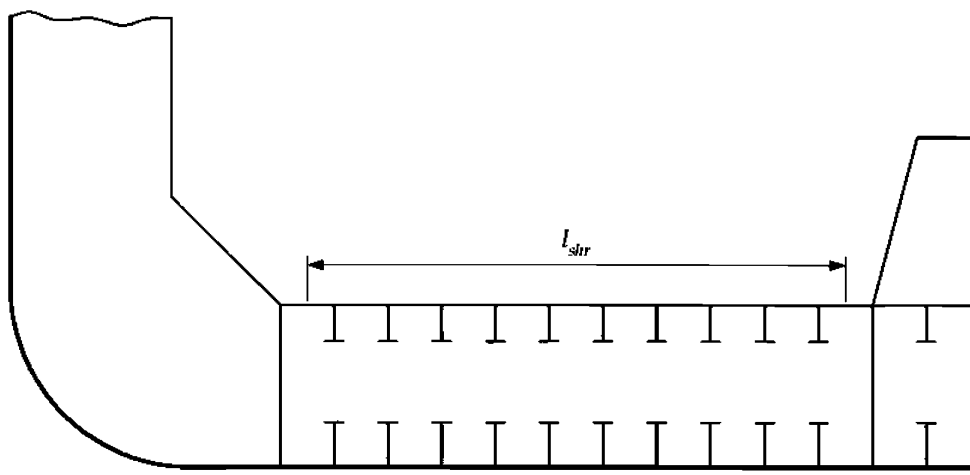


Рис. 8.2.6
Эффективная длина сдвига флоров



Стандартное расположение со скулой и концевой бракетой



Стандартное расположение со скулой и опорой

2.6.3.3 При наличии вертикальных килей двойного дна, не имеющих установленной выше продольной переборки, площадь сдвига нетто, $A_{shr\text{-}net50}$, вертикального киля двойного дна в районе прохождения первой стойки от каждой поперечной и отбойной переборок, где установлены, должна быть не менее чем:

$$A_{shr\text{-}net50} = \frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q расчетная перерезывающая сила

$= 0{,}21 n_1 n_2 P l_{shr}^2$ кН;

l_{shr} эффективная длина сдвига флора двойного дна, м, как показано на *рис. 8.2.6*. В районе концевой бракеты эффективная длина сдвига измеряется до нижнего конца эффективной концевой бракеты, как указано в *разделе 4/2.1.5*. ыВ случае, если флор заканчивается на балке скулы или конструкции опоры, эффективная длина сдвига измеряется до опорного сечения, находящегося посередине расстояния от балки до смежного днища и продольной балки второго дна, как показано на *рис. 8.2.6*;

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в средней точке эффективной длины сдвига флора, l_{shr}, расположенного посередине расстояния между поперечными переборками или поперечной и отбойной переборками, где установлены, кН/м^2;

$$n_1 = 0{,}00935\left(\frac{l_{shr}}{S}\right)^2 - 0{,}163\left(\frac{l_{shr}}{S}\right) + 1{,}289;$$

$$n_2 = 1{,}3 - \left(\frac{S}{12}\right);$$

S расстояние между флорами двойного дна, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.6.3.4 **При наличии вертикальных килей двойного дна, не имеющих установленной выше продольной переборки, площадь сдвига нетто, $A_{shr\text{-}net50}$, вертикального киля двойного дна в районе прохождения первой стойки от каждой поперечной и отбойной переборок, где установлены, должна быть не менее чем:**

$$A_{shr\text{-}net50} = \frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q расчетная перерезывающая сила

$= 0{,}14 n_3 n_4 P l_{shr}^2$ кН;

$$n_3 = 1{,}072 - 0{,}0357\left(\frac{l_{shr}}{S}\right);$$

$$n_4 = 1{,}2 - \left(\frac{S}{18}\right);$$

l_{shr} эффективная длина сдвига флора двойного дна, м, как показано на *рис. 8.2.6*. В районе концевой бракеты эффективная длина сдвига измеряется до пяток эффективной концевой бракеты, как указано в *разделе 4/2.1.5*. В случае, если флор заканчивается на балке скулы или конструкции опоры, эффективная длина сдвига измеряется до опорного сечения, находящегося посередине расстояния от балки до смежного днища и продольной балки второго дна, как показано на *рис. 8.2.6.;*

S расстояние между флорами двойного дна, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в средней точке эффективной длины сдвига флора, l_{shr}, расположенного посередине расстояния между поперечными переборками или поперечной и отбойной переборками, где установлены, кН/м^2;

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.6.4 Рамные бимсы

2.6.4.1 Высота стенки рамных бимсов должна быть не менее:

а) 0,20 $l_{bdg\text{-}dt}$ для рамных бимсов в бортовых грузовых танках судов с двумя продольными переборками;

б) 0,13 $l_{bdg\text{-}dt}$ для рамных бимсов в центральных грузовых танках судов с двумя продольными переборками. Глубина стенки рамных бимсов в центральном грузовом танке должна быть не менее 90 % глубины стенки рамных бимсов в бортовом грузовом танке;

в) 0,10 $l_{bdg\text{-}dt}$ для рамных бимсов судов с диаметральной продольной переборкой;

г) См. также *2.6.1.7*,

где $l_{bdg\text{-}dt}$ эффективная длина изгиба рамного бимса, м, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*, но должна приниматься не менее 60 % ширины танка.

2.6.4.2 Момент инерции рамных бимсов с присоединенным палубным настилом должен соответствовать требованиям *раздела 10/2.3.2.3* для обеспечения контроля общего отклонения палубной конструкции.

2.6.4.3 Момент сопротивления сечения нетто рамных бимсов должен быть не менее $Z_{in\text{-}net50}$ и $Z_{ex\text{-}net50}$, как указано ниже. Момент сопротивления сечения нетто рамных бимсов в бортовых грузовых танках также должен быть не менее значения, требуемого для рамных бимсов в центральных танках.

$$Z_{in\text{-}net50} = \frac{1000 M_{in}}{C_{s\text{-}pr}\sigma_{yd}} \text{ см}^3;$$

$$Z_{ex\text{-}net50} = \frac{1000 M_{ex}}{C_{s\text{-}pr}\sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где M_{in} расчетный изгибающий момент, создаваемый давлением груза, кНм, который должен приниматься равным:

а) для рамных бимсов в бортовых грузовых танках судов с двумя продольными переборками и рамных бимсов в грузовых танках судов с диаметральной продольной переборкой:
$= 0{,}042\varphi P_{in\text{-}dt} S l^2_{bdg\text{-}dt} + M_{st}$, но не менее M_0;

б) для рамных бимсов в центральном грузовом танке судов с двумя продольными переборками:
$= 0{,}042\varphi P_{in\text{-}dt} S l^2_{bdg\text{-}dt} + M_{vw}$, но не менее M_0;

M_{st} изгибающий момент, перенесенный с поперечной бортовой балки
$= c_{st}\beta_{st} P_{in\text{-}st} S l^2_{bdg\text{-}st}$ кНм,
если в бортовом грузовом танке установлена распорка, и значение $l_{bdg\text{-}st\text{-}ct}$ больше $0{,}7 l_{bdg\text{-}st}$, тогда в вышеуказанной формуле значение $l_{bdg\text{-}st}$ можно принять равным $l_{bdg\text{-}st\text{-}ct}$;

M_{vw} изгибающий момент, переданный с вертикального рамного шпангоута продольной переборки
$= c_{vw}\beta_{vw} P_{in\text{-}vw} S l^2_{bdg\text{-}vw}$ кНм,
если значение $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$ больше $0{,}7 l_{bdg\text{-}vw}$, тогда в вышеуказанной формуле значение $l_{bdg\text{-}vw}$ можно принять равным $l_{bdg\text{-}vw\text{-}ct}$;
для переборок с вертикальными гофрами M_{vw} следует принять равным изгибающему моменту на верхней кромке гофра над пролетом между поперечными бортовыми балками;

M_0 минимальный изгибающий момент
$= 0{,}083 P_{in\text{-}dt} S l^2_{bdg\text{-}dt}$ кНм;

M_{ex} расчетный изгибающий момент, создаваемый при заливании палубы
$= 0{,}067 P_{ex\text{-}dt} S l^2_{bdg\text{-}dt}$ кНм;

$P_{in\text{-}dt}$ расчетное давление груза для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}dt}$, рамного бимса посередине танка, кН/м^2;

$P_{in\text{-}st}$ соответствующее расчетное давление груза в бортовом грузовом танке для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}st}$, рамного бимса посередине танка, кН/м^2;

$P_{in\text{-}vw}$ соответствующее расчетное давление груза в центральном грузовом танке судов с двумя продольными переборками для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}vw}$, вертикального рамного шпангоута продольной переборки посередине танка, кН/м^2;

$P_{ex\text{-}dt}$ расчетное давление при заливании палубы для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}dt}$, рамного бимса посередине танка, кН/м^2;

$\varphi = 1 - 5\left(\frac{y_{toe}}{l_{bdg-dt}}\right)$, но не менее 0,6;

y_{toe} расстояние от конца эффективной длины изгиба, l_{bdg-dt}, до нижнего конца концевой бракеты рамного бимса, м;

$\beta_{st} = 0{,}9\left(\frac{l_{bdg-st}}{l_{bdg-dt}}\right)\left(\frac{I_{dt}}{I_{st}}\right)$, но не менее 0,10 или более 0,65;

$\beta_{vw} = 0{,}9\left(\frac{l_{bdg-vw}}{l_{bdg-dt}}\right)\left(\frac{I_{dt}}{I_{vw}}\right)$, но не менее 0,10 или более 0,50;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{bdg-dt} эффективная длина изгиба рамного бимса, м, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*; значение следует принимать равным не менее 60 % ширины танка;

l_{bdg-st} эффективная длина изгиба поперечной бортовой балки, м, между рамным бимсом и наклоном скулы, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7;*

$l_{bdg-st-ct}$ эффективная длина изгиба поперечной бортовой балки, м, между рамным бимсом и половиной высоты распорки, если таковая установлена в грузовом танке, см. *раздел 4/2.1.4;*

l_{bdg-vw} эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке, м, между рамным бимсом и конструкцией днища, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*;

$l_{bdg-vw-ct}$ эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке между рамным бимсом и половиной высоты распорки, см. *раздел 4/2.1.4;*

I_{dt} момент инерции нетто рамного бимса с эффективной шириной присоединенной обшивки, указанный в *разделе 4/2.3.2.3*, см^4;

I_{st} момент инерции нетто поперечной бортовой балки с эффективной шириной присоединенной обшивки, указанный в *разделе 4/2.3.2.3*, см^4;

I_{vw} момент инерции нетто вертикального рамного шпангоута на продольной переборке с шириной присоединенной обшивки, указанный в *разделе 4/2.3.2.3*, см^4;

c_{st} как указано в *табл. 8.2.12;*

c_{vw} как указано в *табл. 8.2.12;*

C_{s-pr} коэффициент допустимого напряжения при изгибе для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.2.12

Значения c_{st} и c_{vw} для рамных бимсов

Конфигурация конструкции			c_{st}	c_{vw}
Суда с диаметральной продольной переборкой			0,056	–
Суда с двумя продольными переборками	Распорка в центральном грузовом танке	M_{vw} на основании $l_{bdg-vw-ct}$	–	0,044
		M_{st} на основании l_{bdg-st} или M_{vw} на основании l_{bdg-vw}	0,044	0,016
	Распорки в бортовом грузовом танке	M_{st} на основании $l_{bdg-st-ct}$ или M_{vw} на основании $l_{bdg-vw-ct}$	0,044	0,044
		M_{st} на основании l_{bdg-st} или M_{vw} на основании l_{bdg-vw}	0,041	0,015

2.6.4.4 Площадь сдвига нетто рамных бимсов должна быть не менее $A_{shr-in-net50}$ и $A_{shr-ex-net50}$, как указано в формуле:

$$A_{shr-in-net50} = \frac{10\,Q_{in}}{C_{t-pr}\,\tau_{yd}} \text{ см}^2;$$

$$A_{shr-ex-net50} = \frac{10\,Q_{ex}}{C_{t-pr}\,\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q_{in} расчетная перерезывающая сила, создаваемая давлением груза
$= 0{,}65 P_{in\text{–}dt} S l_{shr} + c_1 D b_{ctr} S \rho g$ кН;

Q_{ex} расчетная перерезывающая сила, создаваемая при заливании палубы
$= 0{,}65 P_{ex\text{–}dt} S l_{shr}$ кН;

$P_{in\text{-}dt}$ расчетное давление груза для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}dt}$, рамного бимса посередине танка, кН/м^2;

$P_{ex\text{-}dt}$ расчетное давление при заливании палубы для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}dt}$, рамного бимса посередине танка, кН/м^2;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{shr} эффективная длина сдвига рамного бимса, м, см. *раздел 4/2.1.5;*

$l_{bdg\text{-}dt}$ эффективная длина изгиба рамного бимса, м, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*; значение следует принимать равным не менее 60 % ширины танка;

c_1 = 0,04 в районе бортовых грузовых танков судов с двумя продольными переборками;
= 0,00 в районе центрального танка судов с двумя продольными переборками;
= 0,00 для судов с диаметральной продольной переборкой.

Рис. 8.2.7
Определение длины пролетов палубы, рамных бимсов, вертикального рамного шпангоута на продольных переборках и горизонтальных стрингеров на поперечных переборках

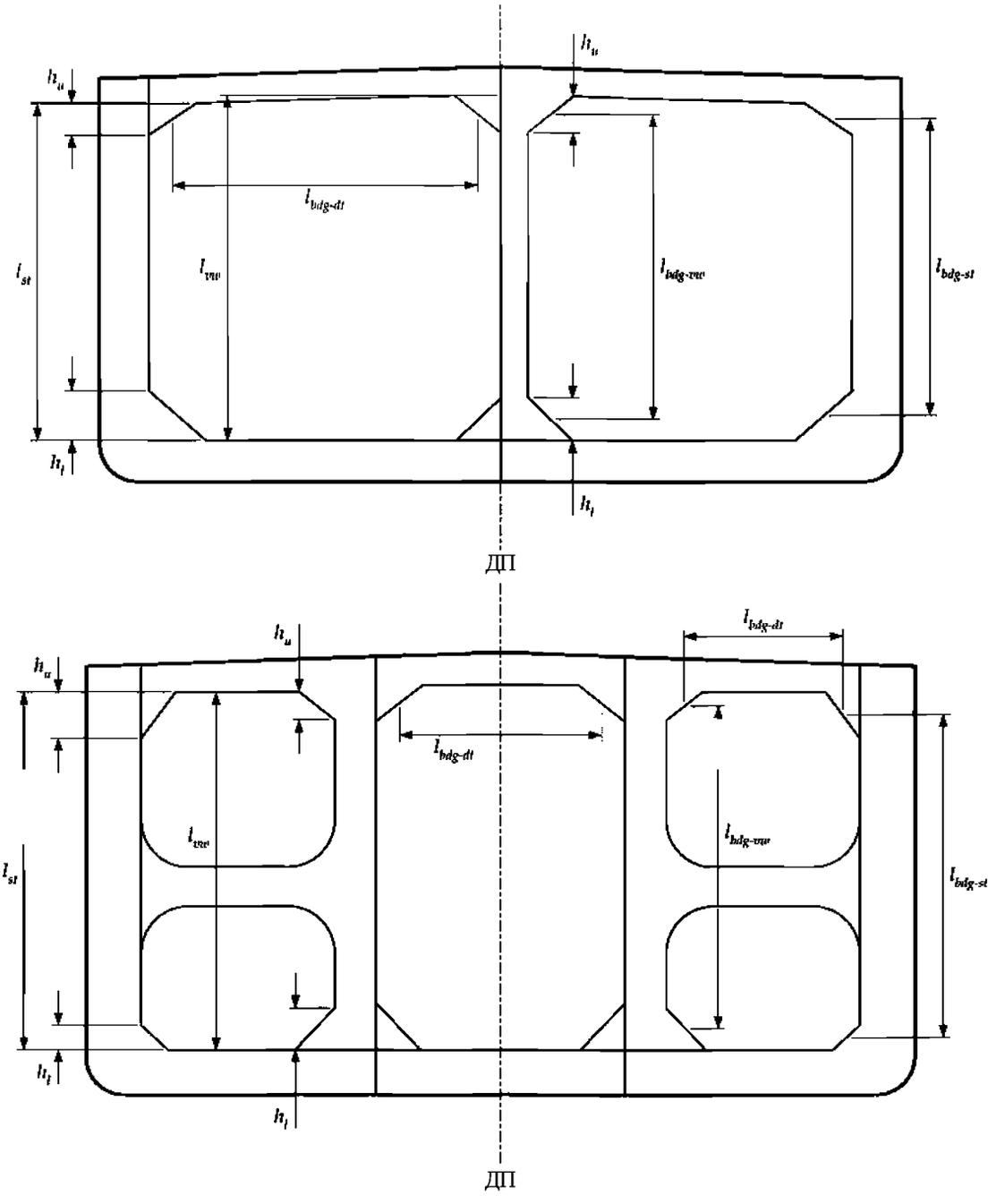
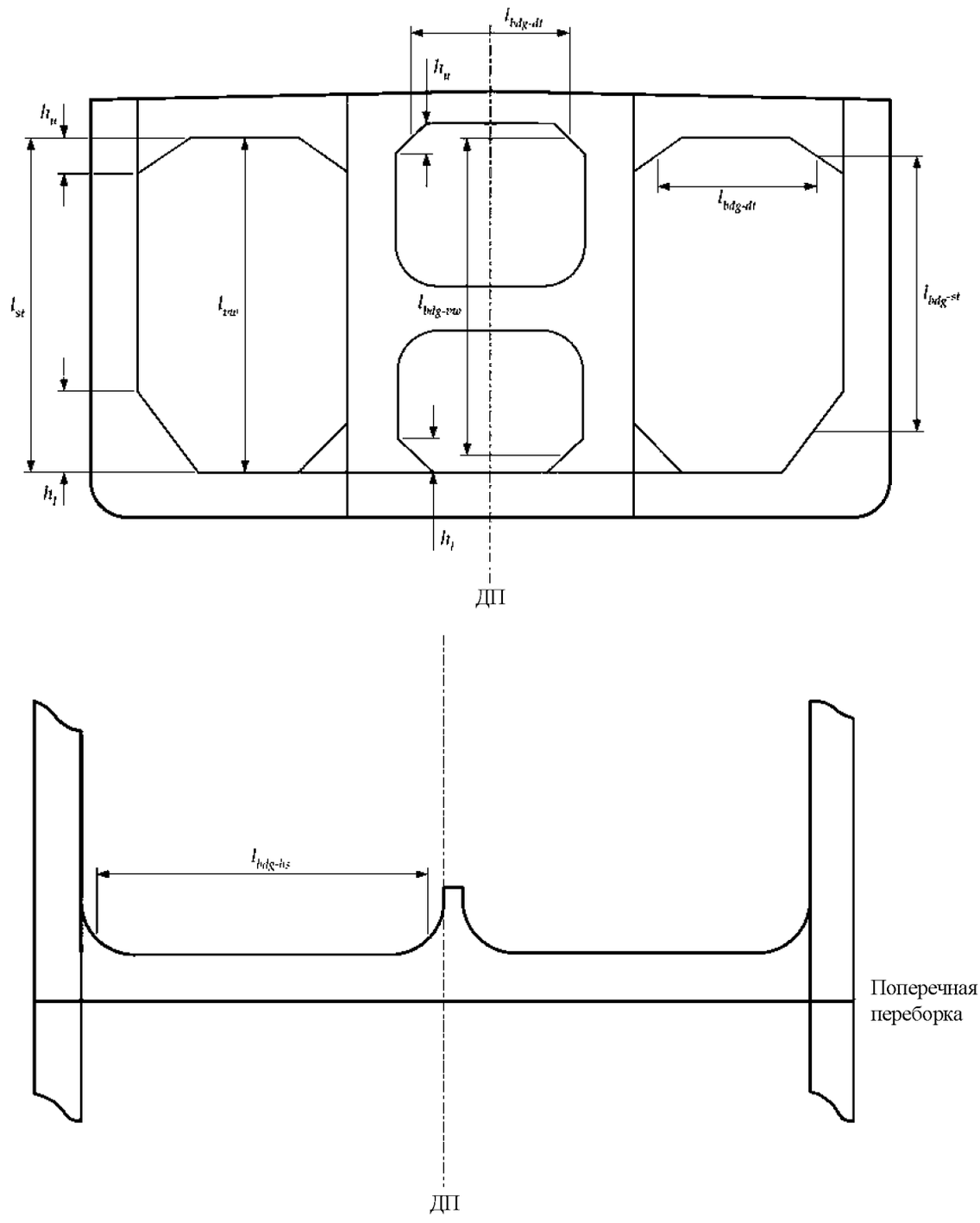


Рис. 8.2.7 (продолжение)
Определение длины пролетов палубы, рамных бимсов, вертикального рамного шпангоута на продольных переборках и горизонтальных стрингеров на поперечных переборках



D глубина, м, как указано в *разделе 4/1.1.4;*

b_{ctr} ширина центрального танка, м;

ρ плотность жидкости в танке, т/м^3; но не менее 1,025, см. *раздел 2/5.1.8*;

g ускорение под воздействием силы тяжести, 9,81 м/с^2;

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.6.5 Поперечные бортовые балки

2.6.5.1 Площадь сдвига нетто, $A_{shr-net50}$, поперечных бортовых балок должна быть не менее:

$$A_{shr-net50} = \frac{10Q}{C_{t-pr}\tau_{yd}} \text{ см}^2$$

где Q расчетная перерезывающая сила, как указано ниже, кН:
$= Q_u$ для верхней части поперечной бортовой балки;
$= Q_l$ для нижней части поперечной бортовой балки;
$= S\,[c_u l_{st}(P_u + P_l) - h_u P_u]$,
если в бортовом грузовом танке установлена распорка, и значение l_{st-ct} больше $0{,}7l_{st}$, тогда в вышеуказанной формуле значение l_{st} можно принять равным l_{st-ct};

Q_l следует принимать равной большему из следующих значений:
а) $= S\,[c_l l_{st}(P_u + P_l) - h_l P_l]$;
б) $0{,}35\,c_l S l_{st}(P_u + P_l)$;
с) $1{,}2\,Q_u$,
если в бортовом грузовом танке установлена распорка, и значение l_{st-ct} больше $0{,}7l_{st}$, тогда в вышеуказанной формуле значение l_{st} можно принять равным l_{st-ct};

P_u расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кН/м^2, рассчитанное посередине танка следующим образом:
а) если рамные бимсы установлены ниже палубы, P_u должно быть рассчитано посередине высоты верхней бракеты поперечной бортовой балки, h_u;
б) если рамные бимсы установлены выше палубы, P_u должно быть рассчитано на подъеме палубы у борта, кроме случаев применения пункта *в*);
в) если рамные бимсы установлены выше палубы, и продольная переборка внутреннего корпуса имеет следующую подпалубную бортовую конструкцию:
- ширина в верхней части подпалубной бортовой конструкции в 1,5 раза больше ширины двойного борта; и
- угол вдоль линии, проведенной между точкой в основании наклонного листа при его пересечении с продольной переборкой внутреннего корпуса и точкой пересечения подпалубной бортовой конструкции и палубы, составляет 30° или более по вертикали;

P_u должно быть рассчитано посередине глубины подпалубной бортовой конструкции;

P_l соответствующее расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине высоты наклона скулы, h_P расположенной посередине танка, кН/м^2;

l_{st} длина поперечной бортовой балки, м, должна приниматься равной:
а) если рамные бимсы установлены ниже палубы, l_{st} является длиной между пояском рамного бимса и вторым дном, см. *рис. 8.2.7;*
б) если рамные бимсы установлены выше палубы, l_{st} является длиной между подъемом палубы у борта и вторым дном;

l_{st-ct} длина поперечной бортовой балки, м, должна приниматься равной:
а) если рамные бимсы установлены ниже палубы, l_{st} является длиной между пояском поперечной бортовой балки и половиной высоты распорки, если она установлена в бортовом грузовом танке;
б) если рамные бимсы установлены выше палубы, l_{st} является длиной между подъемом палубы у борта и половиной высоты распорки, если она установлена в бортовом грузовом танке;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

h_u эффективная длина верхней бракеты поперечной бортовой балки, м, должна приниматься равной:
а) если рамные бимсы установлены ниже палубы, h_u, как указано на *рис. 8.2.7* и как описано в *разделе 4/2.1.5;*
б) если рамные бимсы установлены выше палубы, h_u принимается равной 0,0, кроме случаев применения пункта *в*);
в) если рамные бимсы установлены выше палубы, и продольная переборка внутреннего корпуса имеет следующую подпалубную бортовую конструкцию:
- ширина в верхней части подпалубной бортовой конструкции в 1,5 раза больше ширины двойного борта; и
- угол вдоль линии, проведенной между точкой в основании наклонного листа при его пересечении с продольной переборкой внутреннего корпуса и точкой пересечения подпалубной бортовой конструкции, составляет 30° или более по вертикали;

h_u должна быть рассчитана как расстояние между палубой у борта и нижней кромкой наклонного листа подпалубной бортовой конструкции;

h_l высота наклона скулы, м, как указано на *рис. 8.2.7;*

c_u и c_l как указано в *табл. 8.2.13;*

C_{t-pr} коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.2.13

Значения c_u или c_l для рамных бимсов

Конфигурация конструкции			c_u		c_l	
Число бортовых стрингеров			Менее трех	Равное трем или более	Менее трех	Равное трем или более
Суда с диаметральной продольной переборкой			0,12	0,09	0,29	0,21
Суда с двумя продольными переборками	Распорка в центральном грузовом танке					
	Распорки в бортовых грузовых танках	Q_u или Q_l на основании $l_{st\text{-}ct}$				
		Q_u или Q_l на основании l_{st}	0,08		0,20	

2.6.5.2 Площадь сдвига по длине поперечной бортовой балки должна соответствовать следующему:

а) требуемая площадь сдвига для верхней части должна поддерживаться выше верхней $0{,}2l_{shr}$;
б) требуемая площадь сдвига для нижней части должна поддерживаться выше нижней $0{,}2l_{shr}$;
в) если Q_u или Q_l определены на основании $l_{st\text{-}ct}$, требуемая площадь сдвига для нижней части также должна поддерживаться ниже распорки;
г) для судов без распорок в бортовых грузовых танках требуемая площадь сдвига между верхней и нижней частями должна линейно уменьшаться в сторону 50 % от требуемой площади сдвига для нижней части посередине длины сдвига;
д) для судов с распорками в бортовых грузовых танках требуемая площадь сдвига вдоль пролета должна линейно сужаться между верхней и нижней частями.

Примечание

Если используются материалы с различными пределами текучести, должны быть выполнены соответствующие корректировки для учета разницы пределов текучести материалов,

где l_{shr} эффективная длина сдвига поперечной бортовой балки, м;
$= l_{st} - h_u - h_l$, если Q_u или Q_l определены на основании l_{st};
$= l_{st\text{–}ct} - h_u$, если Q_u или Q_l определены на основании $l_{st\text{-}ct}$;
l_{st}, $l_{st\text{-}ct}$, h_u, h_l, Q_u и Q_l как указано в *2.6.5.1*.

2.6.6 Вертикальный рамный шпангоут на продольной переборке

2.6.6.1 Высота стенки вертикального рамного шпангоута на продольной переборке должна быть не менее, чем:

а) 0,14 $l_{bdg\text{-}vw}$ для судов с диаметральной продольной переборкой;
б) 0,09 $l_{bdg\text{-}vw}$ для судов с двумя продольными переборками;
в) см. также *2.6.1.7*,

где $l_{bdg\text{-}vw}$ эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке, см. *2.6.6.2* и *рис. 8.2.7*.

2.6.6.2 Момент сопротивления сечения нетто, Z_{net50}, вертикального рамного шпангоута должен быть не менее:

$$Z_{net50} = \frac{1000M}{C_{s\text{–}pr}\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3;$$

где M расчетный изгибающий момент, кН/м, рассчитываемый по следующей формуле:
$= c_u P S l^2_{bdg-vw}$ для верхней части рамного шпангоута;
$= c_l P S l^2_{bdg-vw}$ для нижней части рамного шпангоута;
если установлена распорка, и значение $l_{bdg-vw-ct}$ больше $0{,}7 l_{bdg-vw}$, тогда в вышеуказанной формуле значение l_{bdg-vw} можно принять равным $l_{bdg-vw-ct}$;

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, l_{bdg-vw}, вертикального рамного шпангоута, установленного посередине танка, кН/м^2;

l_{bdg-vw} эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке, м, между рамным бимсом и конструкцией днища, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*;

$l_{bdg-vw-ct}$ эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке между рамным бимсом и половиной высоты распорки на судах с двумя продольными переборками, м, см. *раздел 4/2.1.4;*

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

C_{s-pr} коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.2.10;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

c_u и c_l как указано в *табл. 8.2.14.*

Таблица 8.2.14

Значения c_u и c_l для вертикального рамного шпангоута на продольных переборках

Конфигурация конструкции			c_u	c_l
Суда с диаметральной продольной переборкой			0,057	0,071
Суда с двумя продольными переборками	Распорка в центральном грузовом танке		0,012	0,028
	Распорки в бортовых грузовых танках	M на основании $l_{bdg-vw-ct}$	0,057	0,071
		M на основании l_{bdg-vw}	0,016	0,032

2.6.6.3 Момент сопротивления сечения нетто по всей длине вертикального рамного шпангоута на продольной переборке должен соответствовать следующему:

а) требуемый момент сопротивления сечения для верхней части должен поддерживаться выше верхней $0{,}2 l_{bdg-vw}$ или $0{,}2 l_{bdg-vw-ct}$, если применимо;

б) требуемый момент сопротивления сечения для нижней части должен поддерживаться выше нижней $0{,}2 l_{bdg-vw}$ или $0{,}2 l_{bdg-vw-ct}$, если применимо;

в) если требуемый момент сопротивления сечения определен на основании $l_{bdg-vw-ct}$, требуемый момент сопротивления для нижней части также должен поддерживаться ниже распорки;

г) требуемый момент сопротивления сечения между верхней и нижней частями должен линейно уменьшаться до 70 % от требуемого момента сопротивления сечения для нижней части посередине длины сдвига.

Примечание

Если используются материалы с различными пределами текучести, должны быть выполнены соответствующие корректировки для учета разницы пределов текучести материалов,

где l_{bdg-vw}, $l_{bdg-vw-ct}$ как указано в *2.6.6.2.*

2.6.6.4 Площадь сдвига нетто, $A_{shr-net50}$, вертикального рамного шпангоута должна быть не менее:

$$A_{shr-net50} = \frac{10Q}{C_{t-pr}\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q расчетная перерезывающая сила, как указано ниже, кН:
$= Q_u$ для верхней части рамного шпангоута;
$= Q_l$ для нижней части рамного шпангоута;
$Q_u = S[c_u l_{vw}(P_u + P_l) - h_u P_u]$,
если в центральном или бортовом грузовом танке установлена распорка, и значение l_{vw-ct} больше $0{,}7 l_{vw}$, тогда в вышеуказанной формуле значение l_{vw} можно принять равным l_{vw-ct};

Q_l следует принимать равной большему из следующих значений:
а) $= S[c_l l_{vw}(P_u + P_l) - h_l P_l]$;
б) $c_w S c_l l_{vw}(P_u + P_l)$;
с) $1{,}2 Q_u$.

если в центральном или бортовом грузовом танке установлена распорка, и значение $l_{vw\text{-}ct}$ больше $0{,}7l_{vw}$, тогда в вышеуказанной формуле значение l_{vw} можно принять равным $l_{vw\text{-}ct}$;

P_u расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине высоты верхней бракеты вертикального рамного шпангоута, h_u, расположенного посередине танка, кН/м^2;

P_l расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине высоты нижней бракеты вертикального рамного шпангоута, h_l, расположенного посередине танка, кН/м^2;

l_{vw} длина вертикального рамного шпангоута, м, между пояском рамного бимса и вторым дном, см. *рис. 8.2.7;*

$l_{vw\text{-}ct}$ длина вертикального рамного шпангоута, м, между пояском рамного бимса и половиной высоты распорки, если установлена;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

h_u эффективная длина верхней бракеты вертикального рамного шпангоута, м, как показано на *рис. 8.2.7* и как описано в *разделе 4/2.1.5;*

h_l эффективная длина нижней бракеты вертикального рамного шпангоута, м, как показано на *рис. 8.2.7* и как описано в *разделе 4/2.1.5;*

c_u и c_l как указано в *табл. 8.2.15;*

c_w 0,57 для судов с диаметральной продольной переборкой;
0,50 для судов с двумя продольными переборками;

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения для главного несущего элемента, как указано в *табл. 8.2.10;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.2.15

Значения c_u и c_l для вертикального рамного шпангоута на продольных переборках

Конфигурация конструкции		c_u	c_l
Суда с диаметральной продольной переборкой		0,17	0,28
Суда с двумя продольными переборками	Q_u или Q_l на основании $l_{vw\text{-}ct}$		
	Q_u или Q_l на основании l_{vw}	0,075	0,18

2.6.6.5 Площадь сдвига по длине вертикального рамного шпангоута на продольной переборке должна соответствовать следующему:

а) требуемая площадь сдвига для верхней части должна поддерживаться выше верхней $0{,}2l_{shr}$;
б) требуемая площадь сдвига для нижней части должна поддерживаться выше нижней $0{,}2l_{shr}$;
в) если Q_u или Q_l определены на основании $l_{vw\text{-}ct}$, требуемая площадь сдвига для нижней части также должна поддерживаться ниже распорки;
г) для судов без распорок в бортовом или центральном грузовом танке требуемая площадь сдвига между верхней и нижней частями должна линейно уменьшаться в сторону 50 % от требуемой площади сдвига для нижней части посередине длины сдвига;
д) для судов с распорками в бортовом или центральном грузовом танке требуемая площадь сдвига вдоль пролета должна линейно сужаться между верхней и нижней частями.

Примечание

Если используются материалы с различными пределами текучести, должны быть выполнены соответствующие корректировки для учета разницы пределов текучести материалов,

где l_{shr} эффективная длина сдвига поперечной бортовой балки, м;
$= l_{vw} - h_u - h_l$, если Q_u или Q_l определены на основании l_{vw};
$= l_{vw-ct} - h_u$, если Q_u или Q_l определены на основании $l_{vw\text{-}ct}$;
l_{vw}, $l_{vw\text{-}ct}$, h_u, h_l, Q_u и Q_l как указано в *2.6.6.4.*

2.6.7 Горизонтальные стрингеры на поперечных переборках

2.6.7.1 Глубина стенки горизонтальных стрингеров на поперечной переборке должна быть не менее:

а) $0{,}28\ l_{bdg\text{-}hs}$ для горизонтальных стрингеров в бортовых грузовых танках судов с двумя продольными переборками;

б) $0{,}20\,l_{bdg\text{-}hs}$ для горизонтальных стрингеров в центральных танках судов с двумя продольными переборками, однако высота стенки горизонтальных стрингеров в центральном танке должна составлять не менее требуемой высоты для горизонтального стрингера в бортовых грузовых танках;

в) $0{,}20\,l_{bdg\text{-}hs}$ для горизонтальных стрингеров судов с диаметральной продольной переборкой;

г) см. также *2.6.1.7,*

где $l_{bdg\text{-}hs}$ длина изгиба горизонтального стрингера, м; однако его значение должно приниматься равным не менее 50 % ширины танка, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7.*

2.6.7.2 Момент сопротивления сечения нетто, Z_{net50}, горизонтального стрингера на конце $0{,}2l_{bdg\text{-}hs}$ должен быть не менее:

$$Z_{net50} = \frac{1000M}{C_{s\text{-}pr}\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где M расчетный изгибающий момент:
$= cPSl^2_{bdg\text{-}hs}$ кН/м;

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}hs}$, горизонтального стрингера, кН/м^2;

S сумма половины длины (расстояния между стрингерами) на каждой стороне рассматриваемого горизонтального стрингера, м;

$l_{bdg\text{-}hs}$ эффективная длина изгиба горизонтального стрингера, м, должна приниматься не меньше 50 % ширины танка, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7;*

c 0,073 для горизонтальных стрингеров в грузовых танках судов с диаметральной переборкой;
0,083 для горизонтальных стрингеров в бортовых грузовых танках судов с двумя продольными переборками;
0,063 для горизонтальных стрингеров в центральном танке судов с двумя продольными переборками;

$C_{s\text{-}pr}$ коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.2.10;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.6.7.3 Требуемый момент сопротивления сечения посередине эффективной длины изгиба должен приниматься равным 70 % от требуемого момента сопротивления сечения на концах, промежуточные значения должны быть получены линейной интерполяцией. Если используются материалы с различными пределами текучести, должны быть выполнены соответствующие корректировки для учета разницы пределов текучести материалов.

2.6.7.4 Площадь сдвига нетто, $A_{shr\text{-}net50}$, горизонтального стрингера на конце $0{,}2l_{shr}$ должна быть не менее:

$$A_{shr\text{-}net50} = \frac{10Q}{C_{t\text{-}pr}\,\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q расчетная перерезывающая сила,
$= 0{,}5PSl_{shr}$ кН;

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное посередине эффективной длины изгиба, $l_{bdg\text{-}hs}$, горизонтального стрингера, кН/м^2;

S сумма половины длины (расстояния между стрингерами) на каждой стороне рассматриваемого горизонтального стрингера, м;

l_{shr} эффективная длина сдвига горизонтального стрингера, м, см. *раздел 4/2.1.5;*

$C_{t\text{-}pr}$ коэффициент допустимого касательного напряжения, как указано в *табл. 8.2.10;*

$\tau_{yd} = \dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.6.7.5 Требуемая площадь сдвига посередине эффективной длины сдвига должна приниматься равной 50 % от требуемой площади сдвига на концах, промежуточные значения должны быть получены линейной интерполяцией. Если используются материалы с различными пределами текучести, должны быть выполнены соответствующие корректировки для учета разницы пределов текучести материалов.

2.6.8 Распорки

2.6.8.1 Максимальная приложенная расчетная осевая нагрузка на распорки, W_{ct}, должна быть меньше или равна допустимой нагрузке, $W_{ct\text{-}perm}$, в соответствии со следующей формулой:

$$W_{ct} \leq W_{ct\text{-}perm},$$

где W_{ct} приложенная осевая нагрузка
$= P b_{ct} S$ кН;

$W_{ct\text{-}perm}$ допустимая нагрузка
$= 0{,}1 A_{ct\text{-}net50} \eta_{ct} \sigma_{ct}$ кН;

P максимальное расчетное давление для всех рассматриваемых применимых вариантов расчетной нагрузки, рассчитанных в центре района, поддерживаемого распоркой, расположенной посередине танка, кН/м^2;

b_{ct} если в центральном грузовом танке установлена распорка:
$= 0{,}5\, l_{bdg\text{-}vw}$;
если в бортовых грузовых танка установлены распорки:
$= 0{,}5\, l_{bdg\text{-}vw}$, для расчетного давления груза со стороны центрального грузового танка;
$= 0{,}5\, l_{bdg\text{-}st}$ для расчетного давления забортной воды;

$l_{bdg\text{-}vw}$ эффективная длина изгиба вертикального рамного шпангоута на продольной переборке, см. *раздел 4/2.1.4* и *рис. 8.2.7*;

$l_{bdg\text{-}st}$ эффективная длина изгиба поперечной бортовой балки, м, см. *раздел 4/2.1* и *рис. 8.2.7*;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

η_{ct} коэффициент использования, следует принимать равным:
$= 0{,}50$ для совокупности критериев приемлемости АС1;
$= 0{,}60$ для совокупности критериев приемлемости АС2;

σ_{cr} критическое напряжение при изгибе распорки при сжатии, Н/мм^2, рассчитанное с использованием свойств сечения нетто, как указано в *разделе 10/3.5.1;* при этом эффективную длину распорки следует принимать равной следующему, м:
а) для распорки в центральном танке:
расстояние между поясками продольных ребер жесткости продольных переборок правого борта и левого бортов, к которым присоединены горизонтальные ребра жесткости распорки;
б) для распорки в бортовом танке:
расстояние между поясками продольных ребер жесткости на продольной переборке, к которой присоединены горизонтальные ребра жесткости распорки, и обшивкой внутреннего корпуса;

$A_{ct\text{-}net50}$ площадь нетто поперечного сечения распорки, см^2.

2.6.8.2 Особое внимание следует уделить соответствию требованиям сварных соединений для передачи усилий, а также подкрепляющим конструкциям для обеспечения эффективных средств передачи усилий сжатия на стенки. Следует обратить особое внимание на сварку нижних концов всех концевых бракет распорок.

2.6.8.3 Горизонтальные ребра жесткости должны находиться в одной плоскости и быть прикреплены к продольным балкам на концах распорок.

2.6.9 Главные несущие элементы, расположенные за пределами 0,4L от миделя судна

2.6.9.1 Если для района за пределами 0,4L по миделю судна отсутствуют данные анализа методом конечных элементов, для получения размеров главных несущих элементов, расположенных за пределами 0,4L на миделе судна, могу быть использованы требования, указанные в *2.6.9.2* и *2.6.9.3*. Размеры, используемые для расчета размеров в пределах 0,4L на миделе судна, должны соответствовать размерам, указанным в *разделе 8/2* и *разделе 9/2*, см. *2.6.1.3* и *2.6.1.4*.

2.6.9.2 Момент сопротивления сечения нетто главных несущих элементов, $Z_{end\text{-}net50}$, расположенных за пределами 0,4L на миделе судна, должен быть не менее чем:

$$Z_{end\text{-}net50} = \frac{Z_{mid\text{-}net50}\, \sigma_{yd\text{-}mid} M_{end}}{\sigma_{yd\text{-}end} M_{mid}} \text{ см}^3,$$

где M_{end} изгибающий момент, кНм, для рассматриваемого конструктивного элемента, расположенного за пределами $0{,}4L$ на миделе судна, рассчитанный в соответствии с соответствующими требованиями *2.6.3 – 2.6.8*, исходя из расчетного давления, заданного для данного расположения;

M_{mid} изгибающий момент, кНм, для соответствующего конструктивного элемента и местоположения поперечного сечения на миделе судна, полученный исходя из соответствующих требований *2.6.2 – 2.6.8;*

$Z_{end\text{-}net50}$ момент сопротивления сечения нетто пояска соответствующего конструктивного элемента и расположения поперечного сечения на миделе судна, см^3;

$\sigma_{yd\text{-}end}$ заданный минимальный предел текучести пояска рассматриваемого конструктивного элемента, расположенного за пределами $0{,}4L$ на миделе судна, Н/мм^2;

$\sigma_{yd\text{-}mid}$ заданный минимальный предел текучести пояска рассматриваемого конструктивного элемента на миделе судна, Н/мм^2.

2.6.9.3 Площадь сдвига нетто главных несущих элементов, $A_{shr\text{-}end\text{-}net50}$, расположенных за пределами $0{,}4L$ на миделе судна, должна быть не менее:

$$A_{shr-end-net50} = \frac{A_{shr-mid-net50}\,\tau_{yd-mid}\,Q_{end}}{\tau_{yd-end}\,Q_{mid}} \text{ см}^3,$$

где Q_{end} перерезывающая сила, кН, для рассматриваемого конструктивного элемента, расположенного за пределами $0{,}4L$ на миделе судна, рассчитанное согласно соответствующим требованиям *2.6.3 – 2.6.8,* исходя из расчетного давления, заданного для данного расположения;

Q_{mid} перерезывающая сила, кН, для соответствующего конструктивного элемента и расположения поперечного сечения на миделе судна, полученное, исходя из требований *2.6.2 – 2.6.8;*

$A_{shr\text{-}end\text{-}net50}$ площадь сдвига соответствующего конструктивного элемента и расположения поперечного сечения на миделе судна, см^2;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

$\sigma_{yd\text{-}end}$ заданный минимальный предел текучести рассматриваемого конструктивного элемента, расположенного за пределами $0{,}4L$ на миделе судна, Н/мм^2;

$\sigma_{yd\text{-}mid}$ заданный минимальный предел текучести рассматриваемого конструктивного элемента на миделе судна, Н/мм^2.

3 Конструкция в нос от носового грузового танка

3.1 Общие положения

3.1.1 Область применения

3.1.1.1 Требования данного Подраздела относятся к конструкции в нос от носового грузового танка. В случае, если передний край носового грузового танка находится в корму от $0{,}1L$ длины судна, измеренной от носового перпендикуляра, следует уделить особое внимание применимости данных требований и требований *раздела 8/2*.

3.1.1.2 Размеры связей нетто, описанные в настоящем Подразделе, соотносятся с полными размерами следующим образом:

а) в целях применения требований по минимальной толщине, указанных в *3.1.4*, полная толщина получается, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

б) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

в) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления половины полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

г) в целях применения требований к устойчивости, указанных в *разделе 10/2,* полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3*.

3.1.2 Общие требования к размерам связей корпуса

3.1.2.1 Конструкция корпуса должна соответствовать применимым требованиям к:

а) продольной прочности вертикального бруса, см. *раздел 8/1;*
б) устойчивости к ударам жидкости о стенки танка и ударным нагрузкам, см. *раздел 8/6;*
в) устойчивости/предельной прочности, см. *раздел 10.*

3.1.2.2 Толщина настила палубы и опорные конструкции должны быть соответствующим образом усилены в районе расположения якорной лебедки и прочих палубных механизмов, а также в районе расположения кранов, мачт и грузовых полумачт. См. *раздел 11/3.*

3.1.2.3 Момент сопротивления сечения нетто, площадь сдвига и прочие свойства сечения элементов основного набора и главных несущих элементов должны определяться в соответствии с *разделом 4/2.*

3.1.2.4 Момент сопротивления сечения и толщина стенки элементов основного набора применяются к районам, где отсутствуют концевые бракеты. Момент сопротивления сечения и площади сдвига поперечного сечения главных несущих элементов следует применять в соответствии с примечаниями к *табл. 8.3.5.*

3.1.2.5 Критерии размеров связей корпуса основаны на предположениях, что все конструктивные соединения и сварные элементы спроектированы и изготовлены таким образом, что они совместимы с предполагаемыми уровнями рабочего напряжения в рассматриваемых районах. При проектировании конструкций в районах повышенной нагрузки следует принимать во внимание варианты загрузки, концентрации нагрузок и потенциальные режимы отказа. Проектные данные конструкций должны соответствовать требованиям, указанным в *разделе 4/3.*

3.1.2.6 Проточные, сливные и вентиляционные отверстия должны быть вырезаны во всех частях конструкции, где необходимо, для того, чтобы обеспечить свободный ток в приемных трубопроводах и выход воздуха в вентиляционные каналы. Также следует предусмотреть приспособления для осушения пространств над дипганками. См. также *раздел 4/3.*

3.1.2.7 Ребра жесткости рамного шпангоута должны быть установлены на главных несущих элементах на каждой продольной балке бортовой и днищевой обшивки. Могут быть допустимы альтернативные конструкции при условии того, что будет продемонстрировано соответствие требованиям концевых соединений ребра жесткости и прочности смежного рамного шпангоута и обшивки переборки.

3.1.3 Непрерывность конструкции

3.1.3.1 Размеры наружной обшивки корпуса, верхней палубы и второго дна должны постепенно уменьшаться в сторону носовой оконечности. См. также *1.6.*

3.1.3.2 В зоне перехода в корму от форпика в носовой грузовой танк следует обращать особое внимание на устройство крупных продольных элементов конструкции для того, чтобы избежать резкого перепада сечения. Конструкции, находящиеся в форпике, такие как плоские элементы, палубы, горизонтальные кольцевые шпангоуты или бортовые стрингеры, должны быть эффективно соединены в косой замок с конструкцией, расположенной в корму от грузового танка. В тех случаях, когда такие конструкции расположены в одной плоскости с продольными элементами конструкции в корму от переборки переднего грузового танка, могут быть использованы соединения постепенно уменьшающихся переходных бракет.

3.1.3.3 Если конструкции внутреннего корпуса или продольной переборки оканчиваются на носовой переборке носового грузового танка, следует обеспечить соответствующую опорную конструкцию наряду с постепенно уменьшающимися бракетами для обеспечения непрерывности прочности.

3.1.3.4 Продольный набор прочной палубы следует заводить настолько далеко в нос, насколько это практически возможно.

3.1.3.5 Все шпангоуты обшивки и ребра жесткости границ танка должны быть непрерывными или соединены по концам бракетами, кроме разрешенных случаев, указанных в *разделах 4/3.2.4* и *4/3.2.5*.

3.1.4 Минимальная толщина

3.1.4.1 В дополнение к требованиям в отношении толщины, момента сопротивления сечения и площади сдвига стенки ребра жесткости, указанным в настоящем Подразделе, толщина обшивки и ребер жесткости в носовом районе должна соответствовать применимым требованиям к минимальной толщине, указанным в *табл. 8.3.1*.

3.2 Конструкция днища

3.2.1 Горизонтальный киль

3.2.1.1 Плоский горизонтальный киль должен проходить в нос настолько далеко, насколько это практически возможно, и удовлетворять требованиям к размерам связей корпуса, указанным в *2.2.1*.

3.2.2 Днищевая обшивка

3.2.2.1 Толщина днищевой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

3.2.3 Продольные балки днища

3.2.3.1 Продольные балки днища следует заводить настолько далеко в нос, насколько это практически возможно. За пределами их расположения следует устанавливать соответствующим образом подкрепленные шпангоуты.

3.2.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина продольных балок днища должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

Таблица 8.3.1

Минимальная толщина нетто конструкции в нос от носового грузового танка

<table>
<tr><th colspan="3">Расположение размеров связей корпуса</th><th>Толщина нетто (мм)</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Обшивка</td><td rowspan="2">Наружная обшивка корпуса до T_{sc} + 4,6 м</td><td>Килевая обшивка</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td>Днищевая/скуловая/бортовая обшивка</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td>Наружная обшивка корпуса более T_{sc} + 4,6 м</td><td>Бортовая обшивка/обшивка верхней палубы</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Внутренняя конструкция корпуса</td><td>Границы внутреннего танка корпуса</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td>Проницаемые переборки, переборки между сухими пространствами и другие листовые элементы</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td>Переборки пиллерса</td><td>7,5</td></tr>
<tr><td>Горизонтальные кницы</td><td>6,5</td></tr>
<tr><td colspan="3">Флоры и балки днища</td><td>$5,5 + 0,02L_2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Обшивка стенки главных несущих элементов</td><td>$6,5 + 0,015L_2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Элементы основного набора</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td colspan="3">Подкрепляющие кницы</td><td>См. 2.1.5.1</td></tr>
<tr><td colspan="4">где T_{sc} осадка размеров связей корпуса, м, как указано в разделе 4/1.1.5.5;
L_2 длина согласно Правилам, м, как указано в разделе 4/1.1.1.1, но должна приниматься не более 300 м.</td></tr>
</table>

3.2.4 Днищевые флоры

3.2.4.1 Днищевые флоры должны устанавливаться в каждом месте расположения рамного шпангоута. Минимальная глубина флора в диаметральной плоскости должна быть не меньше требуемой глубины двойного дна в районе грузовых танков. См. *раздел 5/3.2.1.1*.

3.2.5 Балки днища

3.2.5.1 В диаметральной плоскости следует обеспечить опорную конструкцию или путем продления диаметральной балки до форштевня, или за счет высокого стрингера, или диаметральной переборки.

3.2.5.2 Если установлена диаметральная балка, ее минимальная глубина и толщина должны быть не менее требуемой для глубины двойного дна в районе грузовых танков, а верхний край следует подкреплять. Если установлена диаметральная отбойная переборка, нижний пояс обшивки должен иметь толщину не меньше, чем требуемая для диаметральной балки.

3.2.5.3 Если поперечные балки днища поддерживаются продольной отбойной переборкой, детали и конструкция отверстий в переборке должны иметь такую конфигурацию, чтобы избежать областей высокого напряжения в районе соединения отбойной переборки с балками днища.

3.2.6 Листовые форштевни

3.2.6.1 Листовые форштевни должны поддерживаться стрингерами и листовыми элементами, а также диафрагмами промежуточных горизонтальных книц, находящимися на расстоянии друг от друга не более 1500 мм, измеренном вдоль форштевня. Если форштевень имеет большой радиус, следует установить диаметральную опорную конструкцию.

3.2.6.2 Между ватерлинией минимальной осадки в балласте на форштевне и осадкой размеров связей корпуса, T_{sc}, толщина нетто листового форштевня, $t_{stem\text{-}net}$, должна быть не менее чем:

$$t_{stem\text{-}net} = \frac{L_2\sqrt{\frac{253}{\sigma_{yd}}}}{12} \text{ мм, но не более 21 мм,}$$

где L_2 длина согласно Правилам, L, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Выше летней ватерлинии толщина листа форштевня может постепенно уменьшаться до соответствия требованиям к обшивке верхней палубы.
Ниже линии осадки в случае нагрузки в балласте толщина листа форштевня может постепенно уменьшаться до соответствия требованиям к горизонтальному килю.

3.2.7 Флоры и балки в отсеках, расположенных в корму от таранной переборки

3.2.7.1 Флоры и балки, расположенные в корму от таранной переборки и в нос от носового грузового танка, должны соответствовать требованиям *3.2.4* и *3.2.5*, а также требованиям к площади сдвига, указанным в *3.9.3.3*.

3.3 Конструкция борта

3.3.1 Бортовая обшивка

3.3.1.1 Толщина бортовой обшивки должна соответствовать требованиям *3.9.2.1*. Где применимо, толщина бортовой обшивки должна соответствовать требованиям *2.2.4.2*.

3.3.1.2 Если на судне установлен бак, требования к бортовой обшивке должны также применяться к обшивке, продолжающейся до возвышения палубы бака.

3.3.2 Элементы основного набора бортовой обшивки

3.3.2.1 Продольный набор бортовой обшивки следует продолжать в нос настолько далеко, насколько это практически возможно.

3.3.2.2 Момент сопротивления сечения и толщина набора наружной обшивки корпуса должны соответствовать требованиям *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

3.3.2.3 Концевые соединения продольных балок на поперечных переборках должны обеспечивать надлежащую фиксацию, боковую опору, а там, где они не являются непрерывными, они должны иметь бракеты с наконечниками из мягкого металла. Не следует использовать бракеты, перекрывающие продольные балки.

3.3.3 Главные несущие элементы бортовой обшивки

3.3.3.1 Как правило, расстояние между рамными шпангоутами, S, как указано в *разделе 4/2.2.2*, должно рассчитываться по следующей формуле:

$S = 2{,}6 + 0{,}005 L_2$ м, но не более 3,5 м,

где L_2 длина согласно Правилам, L, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

3.3.3.2 Как правило, поперечный набор в нос от стрингеров таранной переборки должен располагаться на расстоянии приблизительно 3,5 м друг от друга. Эффективная длина пролета между стрингерами должна быть не более 10 м, и стрингеры должны иметь надлежащую опору за счет конструкций рамного шпангоута. В корму от таранной переборки, там, где используется поперечный набор, эффективная длина пролета между стрингерами может быть увеличена.

3.3.3.3 Для ограничения эффективной длины пролета между рамными шпангоутами до 10 м следует установить перфорированные листы.

3.3.3.4 Размеры связей рамного шпангоута, поддерживающего продольные шпангоуты, а также стрингеров и/или рамных шпангоутов, поддерживающих поперечный шпангоут в районе носа, должны определяться, исходя из *3.9.3* с учетом следующих дополнительных требований:

а) где не установлены распорки:
- требуемый момент сопротивления сечения рамного шпангоута должен поддерживаться на 60 % эффективной длины изгиба, измеренного от нижнего конца. Значение изгибающего момента, используемое для расчета требуемого момента сопротивления сечения оставшейся части рамного шпангоута, может быть соответствующим образом уменьшено, однако не более чем на 20 %;
- требуемая площадь сдвига нижней части рамного шпангоута должна поддерживаться на 60 % длины сдвига, измеренного от нижнего конца;

б) где установлена одна распорка:
- эффективные длины изгиба и сдвига рамного шпангоута или стрингера следует определять, не принимая во внимание наличие распорок. Перерезывающие силы и изгибающие моменты могут быть уменьшены до 50 % значений, полученных расчетным путем без учета наличия распорок. Для рамного шпангоута требуемые момент сопротивления сечения и площадь сдвига нижней части рамного шпангоута должны поддерживаться вплоть до распорки, а требуемые момент сопротивления сечения и площадь сдвига для верхней части рамного шпангоута должны поддерживаться для сечения, находящегося выше распорки;
- распорки должны соответствовать требованиям *2.6.8* с учетом расчетных нагрузок, указанных в *табл. 8.3.8;*

в) следует обратить особое внимание на конфигурации с множественными распорками в соответствии с *3.3.3.4 г)*;

г) если используются сложные конструкции с перекрестными связями, приемлемость размеров основных опорных конструктивнх связей следует определять при помощи более расширенных методов расчета.

3.3.3.5 Высота стенки главных несущих элементов должна составлять не менее 14 % длины изгиба, а также быть, как минимум, в 2,5 раза больше значения глубины пазов для ребер жесткости, если пазы не закрыты.

3.4 Конструция палубы

3.4.1 Настил палубы

3.4.1.1 Толщина настила палубы должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1,* при применимых значениях бокового давления, нагрузки при заливании палубы и нагрузки на палубные конструкции.

3.4.1.2 В дополнение к требованиям *3.4.1.1*, толщина настила нетто палубы, t_{net}, должна быть не менее:

$t_{net} = 0{,}009s$ мм,

где s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2.*

3.4.2 Ребра жесткости палубы

3.4.2.1 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости палубы должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*, при применимых значениях бокового давления, нагрузки при заливании палубы и нагрузки на палубные конструкции.

3.4.3 Главный несущий элемент палубы

3.4.3.1 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям *3.9.3.*

3.4.3.2 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 10 % неподдерживаемого участка изгиба.

3.4.3.3 В районе концентрированных нагрузок, возникающих под действием тяжелого оборудования, размеры связей палубной конструкции следует определять, исходя из фактической нагрузки. См. также *раздел 11/3.*

3.4.4 Пиллерсы

3.4.4.1 Где возможно, следует устанавливать пиллерсы на одной и той же вертикальной оси и обеспечивать эффективные приспособления для распределения нагрузки на верхних и нижних концах всех пиллерсов. Если пиллерсы поддерживают неосевые нагрузки, их следует подкреплять для того, чтобы они выдерживали дополнительный изгибающий момент, воздействующий на них.

3.4.4.2 Трубчатые и полые пиллерсы прямоугольного сечения следует прикреплять за верхние и нижние концы при помощи бракет или накладных/вкладных листов, где возможно, для эффективной передачи нагрузки. Пиллерсы должны быть прикреплены за верхние и нижние концы непрерывным сварным швом. На верхних и нижних концах пиллерсов, изготовленных из сортового проката, нагрузка должна распределяться при помощи бракет или другими эквивалентными способами.

3.4.4.3 Пиллерсы внутри танков должны иметь сплошное сечение. Там, где из-за воздействия гидростатического давления в пиллерсе могут возникнуть напряжения на растяжение, напряжение на растяжение в пиллерсе и его концевых соединениях не должно превышать 45 % от заданного минимального предела текучести материала.

3.4.4.4 Размеры связей пиллерсов должны соответствовать требованиям *3.9.5*.

3.4.4.5 Если нагрузки под воздействием тяжелого оборудования превышают расчетную нагрузку, указанную в *3.9.5*, размеры связей пиллерса следует определять, исходя из фактической нагрузки.

3.5 Переборки танков

3.5.1 Общие положения

3.5.1.1 Для минимизации динамического напряжения, действующего на конструкцию, может потребоваться деление танков или установка глубоких отбойных листовых элементов.

3.5.2 Конструкция

3.5.2.1 Ни в коем случае размеры связей переборок границ танков, не могут быть меньше, чем требуемые для водонепроницаемых переборок.

3.5.3 Размеры связей переборок, составляющих границы танков

3.5.3.1 Толщина обшивки границы танка должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

3.5.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

3.5.3.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям *3.9.3*.

3.5.3.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 14 % неподдерживаемого участка изгиба.

3.5.3.5 Размеры связей гофрированных переборок должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.4*.

3.6 Водонепроницаемые границы танка

3.6.1 Общие положения

3.6.1.1 Водонепроницаемые границы танка следует устанавливать в соответствии с *разделом 5/2*.

3.6.2 Таранная переборка

3.6.2.1 Размеры связей конструктивных элементов таранных переборок должны соответствовать применимым требованиям, указанным в *3.6.3*. Дополнительно, таранная переборка должна соответствовать требованиям, указанным в *3.6.2.2 – 3.6.2.4*.

3.6.2.2 Расположение таранной переборки должно соответствовать *разделу 5/2.2*.

3.6.2.3 Двери, лазы, отверстия для прохода или вентиляционные каналы не должны вырезаться в таранной переборке ниже палубы свободного борта. Если таранная переборка продлена выше палубы свободного борта, количество отверстий на ее продолжении должно поддерживаться равным минимуму, совместимому с конструкцией и надлежащими эксплуатационными характеристиками судна. Отверстия должны быть снабжены герметичными устройствами для закрытия. Через таранную переборку могут быть проложены трубопроводы, необходимые для работы с содержимым танков, расположенных в нос от переборки, при условии, что трубопроводы снабжены клапанами, которые могут работать над уровнем свободной палубы. Клапаны, как правило, следует устанавливать на таранной переборке внутри форпика, а не внутри грузового танка.

3.6.2.4 Отсеки, расположенные в нос от таранной переборки, могут быть не оборудованы для перевозки горючих жидкостей.

3.6.3 Размеры связей водонепроницаемых границ

3.6.3.1 Толщина граничной обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

3.6.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

3.6.3.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3*.

3.6.3.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 10 % от неподдерживаемого участка изгиба.

3.6.3.5 Размеры связей гофрированных переборок должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.4*.

3.7 Надстройка

3.7.1 Конструкция бака

3.7.1.1 Конструкции бака должны иметь опору за счет балок с высокими бимсами и рамными шпангоутами; в целом, они должны быть объединены в цельные поперечные пояса и поддерживаться рядами пиллерсов, продолжающихся в нижележащую конструкцию. Там, где это практически возможно, следует установить высокие бимсы и балки для того, чтобы ограничить расстояние между высокими бимсами, рамными шпангоутами и/или балками до приблизительно 3,5 м. Также следует установить пиллерсы в соответствии с требованиями, указанными в *3.4.4*. Следует тщательно спроектировать пересечения основных элементов конструкций, уделяя особое внимание верхним концам пиллерсов и соединениям нижних концов, а также избегать концентрации напряжений.

3.7.2 Концевая переборка бака

3.7.2.1 Размеры связей и конструкция концевой переборки бака должны соответствовать требованиям *раздела 11/1.4*.

3.8 Прочие конструкции

3.8.1 Поддерживающие переборки

3.8.1.1 Переборки, поддерживающие балки, или пиллерсы и продольные переборки, установленные в месте расположения балок, должны иметь ребра жесткости, чтобы обеспечить опору не менее эффективную, чем требуется для стоек или пиллерсов. Действующая нагрузка и требуемая площадь нетто поперечного сечения пиллерса определяются, исходя из требований *3.4.4*. Момент инерции нетто ребра жесткости следует рассчитывать на ширину $40t_{net}$, где t_{net} – толщина нетто обшивки, мм.

3.8.1.2 Поддерживающие переборки должны соответствовать следующим требованиям:

а) расстояние между ребрами жесткости переборки не должно превышать 1500 мм;
б) если переборка гофрированная, высота гофра не должна быть менее 100 мм.

3.8.2 Бульбообразный нос

3.8.2.1 Если судно имеет бульбообразный нос, конструктивные элементы должны быть такими, чтобы бульб имел надлежащую опору и был интегрирован в конструкцию форпика.

3.8.2.2 Как правило, на переднем конце бульба конструкция должна иметь опору за счет горизонтальных листовых диафрагм, находящихся друг от друга на расстоянии примерно 1 м, соединенных с высокой диаметральной стенкой.

3.8.2.3 В целом, в районе перехода от набора пика к набору бульба следует установить вертикальные поперечные листовые диафрагмы.

3.8.2.4 В районе расположения широкого бульба следует установить дополнительное подкрепление в форме диаметральной отбойной переборки.

3.8.2.5 В районе расположения длинного бульба следует установить дополнительное подкрепление в форме поперечной отбойной переборки или прочных рамных шпангоутов.

3.8.2.6 Толщину обшивки следует увеличить на переднем конце бульба, а также в местах, где вероятен контакт с якорями и якорными цепями при подъеме и отдаче якоря. Увеличенная толщина обшивки должна равняться требуемой для листовых форштевней.

3.8.3 Цепные ящики

3.8.3.1 Цепные ящики должны соответствовать требованиям, указанным в *разделе 11/4.2.9*.

3.8.4 Туннели носового подруливающего устройства

3.8.4.1 Толщина нетто обшивки туннеля, $t_{tun\text{-}net}$, должна быть не менее требуемой для обшивки, расположенной вблизи от носового подруливающего устройства. Кроме того, $t_{tun\text{-}net}$ должна быть не менее чем:

$$t_{tun\text{-}net} = 0{,}008\, d_{tun} + 1{,}8 \quad \text{мм},$$

где d_{tun} внутренний диаметр туннеля, мм, но не менее 970 мм.

3.8.4.2 Если расположенные вблизи борта судна концы туннеля имеют брусья или решетки, такие брусья или решетки должны быть надежно закреплены.

3.9 Требования к размерам связей

3.9.1 Общие положения

3.9.1.1 Варианты расчетной нагрузки следует применять по отношению к требованиям к конструкции элементов основного набора и главных несущих элементов, как указано в *табл. 8.3.8*. Статические и динамические составляющие нагрузки следует сочетать в соответствии с *табл. 7.6.1* и процедурой, указанной в *разделе 7/6.3*.

3.9.2 Обшивка и элементы основного набора

3.9.2.1 Для обшивки, находящейся под действием бокового давления, толщину нетто обшивки t_{net} следует принимать равной наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.8*, и рассчитывать по следующей формуле:

$$t_{net} = 0{,}0158\,\alpha_p\, s \sqrt{\frac{|P|}{C_a\,\sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели;

$$= 1{,}2 - \frac{s}{2100\,l_p};$$

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_p длина листовой панели, которую следует принимать равной расстоянию между главными несущими элементами, за исключением случаев, когда установлены карлингсы, м;

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта критериев приемлемости, как указано в *табл. 8.3.2*;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.3.2

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для совокупности критериев приемлемости для обшивки

Вариант критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	C_a
AC1	Вся обшивка	0,80
AC2	Наружная обшивка корпуса	0,95
	Внутренняя обшивка границы (1)	1,00
Примечание 1. Обшивку таранной переборки следует оценивать на соответствие варианту расчетной нагрузки 11 (случайное затопление), используя совокупность критериев приемлемости AC1.		

3.9.2.2 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, следует принимать равным наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.8*, и рассчитывать по следующей формуле:

$$Z_{net} = \frac{|P|\,s\,l_{bdg}^2}{f_{bdg}\,C_s\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{bdg} эффективная длина изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.1*, м;

$f_{изг}$ коэффициент изгибающего момента:

для непрерывных ребер жесткости и случаев, когда концевые соединения установлены в соответствии с идеализацией ребра жесткости как имеющего закрепленные концы:

12 для горизонтальных ребер жесткости;

10 для вертикальных ребер жесткости;

для других конфигураций коэффициент изгибающего момента может быть принят в соответствии с *табл. 8.3.5;*

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.3;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.3.3

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для ребер жесткости

Вариант критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	C_s
AC1	Все ребра жесткости	0,75
AC2	Все ребра жесткости(1)	0,90

Примечание

1. Ребра жесткости таранной переборки следует оценивать на соответствие варианту расчетной нагрузки 11 (случайное затопление), используя совокупность критериев приемлемости AC1.

3.9.2.3 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, толщину нетто стенки, основанную на требованиях к площади сдвига, $t_{w\text{-}net}$, следует принимать равной наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в табл. *8.3.8,* и рассчитывать по следующей формуле:

$$t_{w-net} = \frac{f_{shr}\,|P|\,s\,l_{shr}}{d_{shr}\,C_t\,\tau_{yd}} \text{ мм},$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

f_{shr} коэффициент перерезывающей силы:

для непрерывных ребер жесткости и случаев, когда концевые соединения установлены в соответствии с идеализацией ребра жесткости как имеющего закрепленные концы:

0,5 для горизонтальных ребер жесткости;

0,7 для вертикальных ребер жесткости;

для других конфигураций коэффициент перерезывающей силы может быть принят в соответствии с *табл. 8.3.5.*

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{shr} эффективная длина сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.2*, м;

d_{shr} эффективная высота стенки ребра жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.4.2.2;*

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.4;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.3.4

Коэффициент допустимого касательного напряжения для ребер жесткости

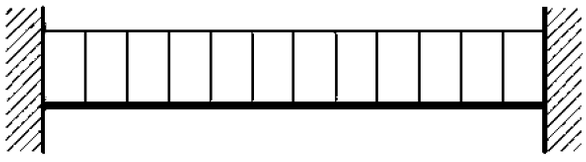
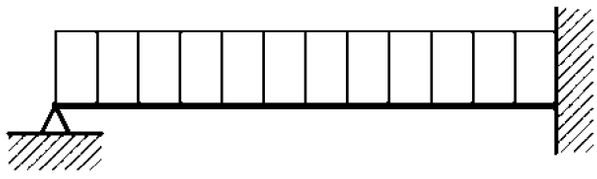
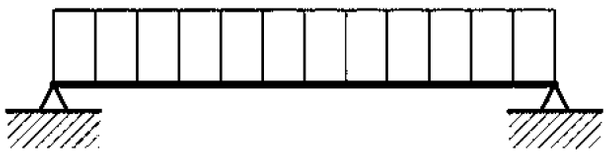
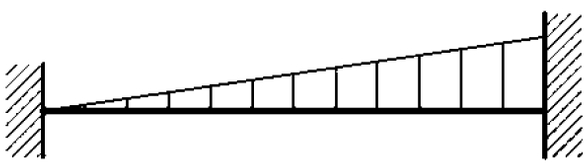
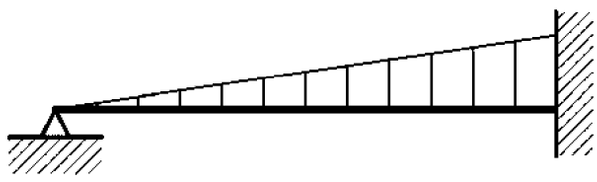
Вариант критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	C_t
AC1	Все ребра жесткости	0,75
AC2	Все ребра жесткости(1)	0,90

Примечание

1. Ребра жесткости таранной переборки следует оценивать на соответствие варианту расчетной нагрузки 11 (случайное затопление), используя совокупность критериев приемлемости AC1.

Таблица 8.3.5

Коэффициенты изгибающего момента и перерезывающей силы, f_{bdg} и f_{shr}

Нагрузка и граничное условие				**Коэффициент изгибающего момента и перерезывающей силы (на основании нагрузки на половине длины, где нагрузка изменяется)**		
Положение				1 f_{bdg1} f_{shr1}	2 f_{bdg2} f_{shr2}	3 f_{bdg3} f_{shr3}
Модель нагрузки	1 Опора	2 Поле	3 Опора			
A				12,0 0,50	24,0 –	12,0 0,50
B				– 0,38	14,2 –	8,0 0,63
C				– 0,50	8,0 –	– 0,50
D				15,0 0,30	23,3 –	10,0 0,70
E				– 0,20	16,8 –	7,5 0,80

Продолжение табл. 8.3.

Примечания:

1. Коэффициент изгибающего момента f_{bdg} для положений опор применим на расстоянии $0{,}2l_{bdg}$ от конца эффективной длины изгиба, как для элементов основного набора, так и для главных несущих элементов.

2. Коэффициент касательного напряжения f_{shr} для положений опор применим на расстоянии $0{,}2l_{shr}$ от конца эффективной длины сдвига, как для элементов основного набора, так и для главных несущих элементов.

3. Применение f_{bdg} и f_{shr} для элементов основного набора:

а) требование к моменту сопротивления сечения главных несущих элементов следует определять, используя наименьшее значение из f_{bdg1}, f_{bdg2} и f_{bdg3};

б) требование к площади сдвига главных несущих элементов следует определять, используя наибольшее значение из f_{shr1} и f_{shr3}.

4. Применение f_{bdg} и f_{shr} для главных несущих элементов:

а) требование к моменту сопротивления сечения в пределах $0{,}2l_{bdg}$ от конца эффективной длины изгиба, в целом, следует определять, используя применимые коэффициенты f_{bdg1} и f_{bdg3}, однако f_{bdg} не следует принимать больше 12;

б) момент сопротивления сечения середины длины изгиба следует определять, используя f_{bdg} = 24, или f_{bdg2} из Таблицы, если второе значение меньше;

в) требование к площади сдвига концевых соединений в пределах $0{,}2l_{shr}$ от конца эффективной длины изгиба следует определять, используя f_{shr} = 0,5 или применимое значение f_{shr1} или f_{shr3} в зависимости от того, какое значение больше;

г) для моделей A – E значение f_{shr} может постепенно уменьшаться за пределами $0{,}2l_{shr}$ в сторону $0{,}5f_{shr}$ посередине длины сдвига, где f_{shr} наибольшее значение из f_{shr1} и f_{shr3}.

5. Информацию по другим моделям нагрузки см. в *табл. 8.7.1.*

3.9.3 Главные несущие элементы

3.9.3.1 Для главных несущих элементов, пересекающихся или располагающихся в районе расположения криволинейных сечений корпуса, эффективность концевых бракет должна включать припуск на криволинейность корпуса. Для поперечных бортовых шпангоутов требования могут быть снижены из-за наличия распорок, см. *3.3.3.4*.

3.9.3.2 Для главных несущих элементов, находящихся под действием бокового давления, момент сопротивления сечения нетто, Z_{net50}, следует принимать равным наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.8,* и рассчитывать по следующей формуле:

$$Z_{net50} = 1000\,\frac{|P|\,S l_{bdg}^2}{f_{bdg}\,C_s\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.3*, кН/м^2;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{bdg} эффективная длина изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.4*, м;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента, как указано в *табл. 8.3.5;*

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.6;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.3.6

Коэффициент допустимого изгибающего напряжения для главных несущих элементов

Вариант критериев приемлемости	Конструктивный элемент	C_s
AC1	Все границы, включая палубы и полосы	0,75
AC2	Все границы, включая палубы и полосы (1)	0,85

Примечание

1. Главные несущие элементы таранной переборки следует оценивать на соответствие варианту расчетной нагрузки 11 (случайное затопление), используя совокупность критериев приемлемости AC1.

3.9.3.3 Для главных несущих элементов, находящихся под действием бокового давления, эффективная площадь нетто стенки, $A_{w\text{-}net50}$, должна приниматься равной наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.8,* и рассчитываться по следующей формуле:

$$A_{w-net50} = 10\frac{f_{shr}|P|Sl_{shr}}{C_t\tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.2*, кН/м^2;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{shr} эффективная длина сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.5*, м;

f_{shr} коэффициент перерезывающей силы, как указано в *табл. 8.3.5;*

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.7;*

$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.3.7

Коэффициент допустимого касательного напряжения для главных несущих элементов

Вариант критериев приемлемости	**Конструкция, присоединенная к главного несущего элемента**	C_t
AC1	Все границы, включая палубы и полосы	0,70
AC2	Все границы, включая палубы и полосы (1)	0,85

Примечание

1. Главные несущие элементы таранной переборки следует оценивать на соответствие варианту расчетной нагрузки 11 (случайное затопление), используя совокупность критериев приемлемости AC1.

3.9.3.4 В целом, анализ главных несущих элементов следует выполнять, используя конкретные методы, описанные для конкретного типа конструкции. Для того, чтобы убедиться в том, что номинальный уровень напряжения для всех главных несущих элементов меньше, чем допустимые напряжения и коэффициенты напряжений, указанные в *3.9.3.2* и *3.9.3.3*, при приложении к ним применимых вариантов расчетной нагрузки, могут потребоваться более расширенные методы расчета.

3.9.4 Гофрированные переборки

3.9.4.1 Особое внимание следует уделять одобрению гофрированных переборок, где они установлены.

Рекомендации:

В качестве исходных данных можно использовать требования к размерам связей гофрированных переборок в районе грузовых танков, см. *2.5.6* и *2.5.7.*

3.9.5 Пиллерсы

3.9.5.1 Максимальную нагрузку на пиллерс, W_{pill}, следует принимать равной наибольшему значению, рассчитанному для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.3.8*, и она должна быть меньше или равна допустимой нагрузке на пиллерс, получаемой при помощи нижеприведенного уравнения, где $W_{pill\text{-}perm}$ основывается на свойствах нетто пиллерса.

$$W_{pill} \le W_{pill-perm},$$

где W_{pill} осевая нагрузка, действующая на пиллерс
$= Pb_{a-sup}l_{a-sup} + W_{pill-upr}$ кН;

$W_{pill\text{-}perm}$ допустимая нагрузка на пиллерс
$= 10 A_{pill\text{–}net50} \eta_{pill} \sigma_{crb}$ кН;

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в центре площади палубы, поддерживаемой рассматриваемым пиллерсом, кН/м^2;

$b_{a\text{-}sup}$ средняя ширина поддерживаемой площади, м;

$l_{a\text{-}sup}$ средняя длина поддерживаемой площади, м;

$W_{pill\text{-}upr}$ осевая нагрузка, вызываемая расположенными выше пиллерсом или пиллерсами, кН;

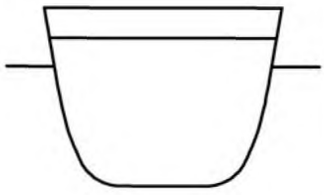
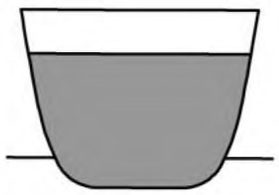
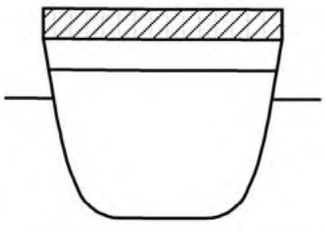
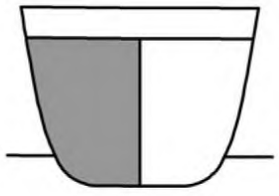
$A_{pill\text{-}net50}$ площадь нетто поперечного сечения пиллерса, см^2;

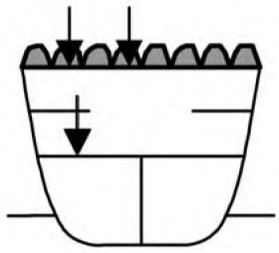
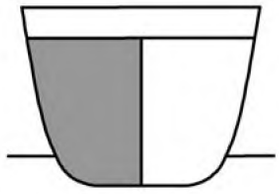
η_{pill} коэффициент использования для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки:
= 0,5 для совокупности критериев приемлемости АС1;
= 0,6 для совокупности критериев приемлемости АС2;

σ_{crb} критический предел устойчивости при сжатии пиллерса, основанный на свойствах нетто сечения, рассчитанных в соответствии с *разделом 10/3.5.1*, Н/мм^2.

Таблица 8.3.8

Варианты расчетной нагрузки для обшивки, элементов основного набора и главных несущих элементов

Тип местного подкрепления и главного несущего элемента	**Вариант расчетной нагрузки(1)**	**Составляющая нагрузки**	**Внешняя осадка**	**Примечание**	**Графическое представление**
1	2	3	4	5	6
Наружная обшивка	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление забортной воды	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	5	P_{in}	T_{bal}	Только давление танка. Давление забортной воды не учитывается	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
Внешние палубы	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление при заливании палубы	
Палубы, образующие границы танка и/или водонепроницаемые переборки	5	P_{in}	T_{bal}	Давление только с одной стороны. Полный танк со смежным пустым танком	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
	11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

1	2	3	4	5	6
Внутренние и внешние палубы или полосы	9	P_{dk}	T_{bal}	Только распределенные или концентрированные нагрузки. Смежные танки пустые. Давление при заливании палубы может не учитываться	
	10	P_{dk}	T_{bal}		
Другие границы танка или водонепроницаемые переборки	5	P_{in}	T_{bal}	Давление только с одной стороны. Полный танк со смежным пустым танком	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
	11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

где T_{sc} как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*
T_{bal} минимальная расчетная осадка в балласте, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.2.*

Примечания:

1. Технические характеристики сочетаний расчетных нагрузок и другие параметры нагрузок для вариантов расчетной нагрузки приведены в *табл. 8.2.8.*

2. Если конфигурация судна не может быть описана вышеприведенными параметрами, следует выбрать применимые варианты расчетной нагрузки для определения требований к размерам связей границ конструкции таким образом, чтобы определить полный танк с одной стороны с пустым смежным танком или пространством. Границу следует оценить применительно к нагрузкам с обеих сторон. Варианты расчетной нагрузки следует выбирать, исходя из содержимого танка или пространства, чтобы максимизировать давление на границу конструкции; используемую осадку следует принимать в соответствии с вариантом расчетной нагрузки и данной таблицей. Следует выбрать варианты расчетной нагрузки, включающие сочетания расчетных нагрузок *S* и *S* + *D*. См. примечание 4 к *табл. 8.2.7* и *табл. 8.2.8.*

3. Границы пустых и сухих пространств, не представляющих собой часть наружной обшивки корпуса, следует оценивать, используя вариант расчетной нагрузки 11. См. примечание 2.

4 Машинное помещение

4.1 Общие положения

4.1.1 Область применения

4.1.1.1 Требования данного Подраздела применяются к машинным помещениям, расположенным в кормовой части, в корму от кормовой переборки грузового танка и в нос от ахтерпиковой переборки, включительно.

4.1.1.2 Размеры связей нетто, описанные в настоящем Подразделе, соотносятся с полными размерами следующим образом:

а) в целях применения требований по минимальной толщине, указанных в *4.1.5*, полная толщина получается, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

б) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

в) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления половины полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

г) в целях применения требований к устойчивости, указанных в *разделе 10/2,* полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из соответствующих требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3.*

4.1.2 Общие требования к размерам связей корпуса

4.1.2.1 Конструкция корпуса должна соответствовать применимым требованиям к:

а) продольной прочности вертикального бруса, см. *раздел 8/1;*

б) устойчивости к ударам жидкости о стенки танка и ударным нагрузкам, см. *раздел 8/6;*

в) устойчивости/предельной прочности, см. *раздел 10.*

4.1.2.2 Момент сопротивления сечения нетто, площадь сдвига и прочие свойства сечения элементов основного набора и главных несущих элементов следует определять в соответствии с *разделом 4/2.*

4.1.2.3 Момент сопротивления сечения и толщина стенки элементов основного набора применяются к районам, где отсутствуют концевые бракеты. Момент сопротивления сечения и площади сдвига поперечного сечения главных несущих элементов следует применять в соответствии с примечаниями к *табл. 8.3.5.*

4.1.2.4 Критерии размеров связей корпуса основаны на предположениях, что все конструктивные соединения и сварные элементы спроектированы и изготовлены таким образом, что они совместимы с предполагаемыми уровнями рабочего напряжения в рассматриваемых районах. При проектировании конструкций в районах повышенной нагрузки следует принимать во внимание варианты нагрузки, концентрации нагрузок и потенциальные режимы отказа. Проектные данные конструкций должны соответствовать требованиям, указанным в *разделе 4/3.*

4.1.2.5 Проточные, сливные и вентиляционные отверстия должны быть вырезаны во всех частях конструкции, где необходимо, для того, чтобы обеспечить свободный ток в приемных трубопроводах и выход воздуха в вентиляционные каналы. Также следует предусмотреть приспособления для осушения пространств над диптанками. См. также *раздел 4/3.*

4.1.3 Непрерывность конструкции

4.1.3.1 Размеры связей обшивки корпуса, верхней палубы и второго дна должны постепенно уменьшаться по направлению к кормовой оконечности. См. также *1.6.*

4.1.3.2 Следует принять соответствующие меры для обеспечения непрерывности прочности и во избежание резкого прерывания в случае, если в районе машинного помещения отсутствует конструкция, оказывающая влияние на основную продольную прочность судна.

4.1.3.3 Если конструкции внутреннего корпуса или продольной переборки заканчиваются на передней переборке машинного отделения, следует обеспечить надлежащую опорную конструкцию вместе с коническими кницами для обеспечения непрерывной прочности.

4.1.3.4 Все шпангоуты и ребра жесткости границ танков должны быть непрерывными по всем размерениям или подкрепляться по концам кницами. См. также *раздел 4/3.2.*

4.1.3.5 Главные продольные несущие элементы, нижние палубы и переборки, расположенные в машинном отделении, должны быть сцентрированы относительно аналогичных конструкций, расположенных в районе грузовых танков, насколько это практически возможно. Там, где непосредственное центрирование невозможно, следует установить надлежащие устройства для соединения в косой стык, например, конические кницы.

4.1.4 Устройства

4.1.4.1 Там, где в машинном помещении имеются отверстия в палубах/переборках, следует установить устройства для обеспечения опоры палубы, бортов и конструкции дна.

4.1.4.2 Все детали механизмов, валопроводы и т.п. должны иметь опоры для распределения нагрузки по конструкции судна. Смежная конструкция должна иметь соответствующую опору.

4.1.4.3 Главные несущие элементы следует располагать с учетом требований к проникающим ребрам жесткости и находящимся в одной плоскости опорам пиллерсов для обеспечения эффективной конструкции.

4.1.4.4 Данные требования сформулированы, исходя из предположения об использовании стандартного одиночного винта и одиночного двигателя. В отношении судов с двумя винтами или несколькими двигателями, или судов большей мощности может потребоваться дополнительное увеличение размеров связей конструкции и района устройств, пропорциональных весу, мощности и пропорциям механизмов, в особенности если двигатели расположены относительно высоко в пропорции к ширине опорной плиты.

4.1.4.5 Фундаменты под главные пропульсивные установки, редукторы, валы и упорные подшипники, а также опорные конструкции этих фундаментов должны сохранять требуемую центровку и жесткость при всех ожидаемых вариантах нагрузки. Следует обратить внимание на передачу следующих схем на рассмотрение изготовителю механизмов:

а) фундаменты под главные пропульсивные установки;
б) фундаменты под редукторы;
в) фундаменты под упорные подшипники;
г) опорные конструкции для *а)*, *б)* и *в)*.

4.1.4.6 Для отделения грузовых танков от машинного помещения следует установить коффердам. Насосное отделение, балластные или топливные танки, используемые для данной цели, могут рассматриваться как коффердамы.

4.1.5 Минимальная толщина

4.1.5.1 В дополнение к требованиям к толщине, моменту сопротивления сечения и площади сдвига, указанным в *4.2 – 4.8*, толщины обшивки и ребер жесткости в машинном помещении должны соответствовать требованиям к минимальной толщине, указанным в *табл. 8.4.1*.

Таблица 8.4.1

Минимальная толщина нетто конструкции в машинном помещении

Расположение размеров связей корпуса			**Толщина нетто** (мм)
Обшивка	**Наружная обшивка корпуса до T_{sc} + 4,6 м**	Килевая обшивка	См. *2.1.5.1*
		Днищевая/скуловая/бортовая обшивка	См. *2.1.5.1*
	Наружная обшивка корпуса более T_{sc} + 4,6 м	Бортовая обшивка/обшивка верхней палубы	См. *2.1.5.1*
	Внутренняя конструкция корпуса	Границы внутреннего танка корпуса	См. *2.1.5.1*
		Проницаемые переборки, переборки между сухими пространствами и другие листовые элементы	См. *2.1.5.1*
		Нижние палубы и полосы	$3{,}3 + 0{,}0067s$
		Второе дно	$6{,}5 + 0{,}02L_2$

Продолжение табл. 8.4.1

Вертикальный киль	См. *2.1.6.1*
Флоры и продольные балки днища в диаметральной плоскости	$5,5 + 0,02L_2$
Обшивка стенки главных несущих элементов	$5,5 + 0,015L_2$
Элементы основного набора	См. *2.1.5.1*
Подкрепляющие кницы	См. *2.1.5.1*

где T_{sc} осадка размеров связей корпуса, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*
L_2 длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2.*

4.2 Конструкция днища

4.2.1 Общие положения

4.2.1.1 В общем, в машинном помещении следует установить двойное дно. Глубина двойного дна должна быть, как минимум, равна требуемой глубине для района грузовых танков, см. *раздел 5/3.2.1.* Если глубина двойного дна в машинном помещении отличается от глубины двойного дна в смежных пространствах, следует обеспечить непрерывность продольных элементов путем уклона второго дна на надлежащем протяжении в продольном направлении.

4.2.2 Днищевая обшивка

4.2.2.1 Толщина килевой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *разделе 8/2.2.1.*

4.2.2.2 Толщина днищевой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.1.*

4.2.3 Ребра жесткости днищевой обшивки

4.2.3.1 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости днищевой обшивки должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.2* и *4.8.1.3.*

4.2.4 Балки и флоры

4.2.4.1 В двойном дне должна быть установлена диаметральная балка. Высота диаметральной балки должна, как минимум, равняться высоте, требуемой для двойного дна в районе грузовых танков, см. *раздел 5/3.2.1.*

4.2.4.2 В районе главных механизмов следует установить днищевые балки полной высоты для эффективного распределения их веса и обеспечения жесткости конструкции. Балки следует заводить настолько далеко в нос и корму, насколько это практически возможно, и соответствующим образом подкрепить по концам опорными конструкциями для обеспечения распределения нагрузки от механизмов. За пределами требуемых размеров размеры балок следует постепенно уменьшать.

4.2.4.3 Где установлены, днищевые балки должны быть сцентрированы относительно днищевых стрингеров, расположенных в смежном пространстве.

4.2.4.4 Если двойное дно имеет поперечный набор, на каждом шпангоуте следует установить сплошные флоры.

4.2.4.5 Если двойное дно имеет продольный набор, под главным двигателем и упорным подшипником следует установить сплошные флоры на каждом шпангоуте. За границами двигателя и подшипника флоры могут быть установлены через шпангоуты.

4.2.4.6 Если тяжеловесное оборудование установлено непосредственно на второе дно, толщина флоров и балок должна быть соответствующим образом увеличена.

4.2.5 Обшивка второго дна

4.2.5.1 Если главные двигатели или упорные подшипники прикреплены болтами непосредственно ко второму дну, толщина обшивки нетто второго дна должна составлять не менее 19 мм. Анкерные болты следует располагать как можно более близко к флорам и продольным балкам. В отношении толщины обшивки и конструкции анкерных болтов также должны учитываться рекомендации изготовителя.

4.2.6 Кингстонные ящики

4.2.6.1 Если конструкция второго дна или двойного дна представляет собой часть кингстонного ящика, толщина обшивки должна составлять не менее требуемой для наружной обшивки в том же месте, с учетом максимальной неподдерживаемой ширины обшивки.

4.3 Конструкция борта

4.3.1 Общие положения

4.3.1.1 Размеры связей бортовой обшивки и продольные балки должны постепенно уменьшаться от района миделя судна к кормовой оконечности.

4.3.1.2 Там, где продольный набор заканчивается и заменяется поперечным набором, следует установить надлежащие устройства для соединения продольного набора в косой замок.

4.3.1.3 Ребра жесткости и главные несущие элементы должны иметь по концам опоры.

4.3.2 Бортовая обшивка

4.3.2.1 Толщина бортовой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.1*. Где применимо, толщина бортовой обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *2.2.4.2*.

4.3.3 Элементы основного набора бортовой обшивки

4.3.3.1 Момент сопротивления сечения и толщины продольных балок и вертикальных ребер жесткости борта должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.2* и *4.8.1.3*.

4.3.3.2 Длина пролета между продольными балками или вертикальными ребрами жесткости должна измеряться вдоль элемента.

4.3.3.3 Концевые соединения продольных балок на поперечных переборках должны обеспечивать устойчивость, продольную опору, а в случае, когда они не являются непрерывными, они должны иметь кницы с мягкими наконечниками. Кницы, соединяемые внахлест с продольными балками, устанавливаться не должны.

4.3.4 Главные несущие элементы бортовой обшивки

4.3.4.1 Рамные шпангоуты должны соединяться на верхней кромке и у дна с элементами соответствующей жесткости и поддерживаться рамными бимсами.

4.3.4.2 Расстояние между рамными шпангоутами в районе имеющих поперечный набор машинных помещений, в общем, не должно превышать пяти расстояний между поперечными шпангоутами.

4.3.4.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.2*.

4.3.4.4 Высота стенки должна быть не менее 2,5 высоты стенки смежных шпангоутов, если пазы не закрыты.

4.3.4.5 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 14 % от неподдерживаемого участка изгиба.

4.4 Конструкция палубы

4.4.1 Общие положения

4.4.1.1 Все отверстия должны иметь элементы набора. Следует обратить внимание на непрерывность конструкции. Следует избегать резкой смены формы, сечения или толщины листа.

4.4.1.2 Углы отверстий в машинных помещениях должны быть надлежащей формы и конструкции для минимизации концентрации нагрузки.

4.4.1.3 В районе отверстий в машинных помещениях палубы или плоские листовые конструкции должны обладать достаточной прочностью в тех местах, где они предназначены для выполнения роли эффективных опорных конструкций для поперечного бортового шпангоута или рамных шпангоутов.

4.4.1.4 Если используется поперечная система набора, ребра жесткости палубы должны поддерживаться соответствующей конструкцией из продольных балок вместе с пиллерсами или поддерживающими переборками. Где установлены, рамные бимсы должны располагаться в одной плоскости с рамными шпангоутами для обеспечения фиксации концов и непрерывности прочности поперечного набора.

4.4.1.5 Если используется продольная система набора, продольные подпалубные балки должны поддерживаться рамными бимсами, расположенными в одной плоскости с рамными шпангоутами вместе с пиллерсами или поддерживающими переборками.

4.4.1.6 Машинные шахты должны поддерживаться за счет подходящего устройства рамных бимсов и стенок фундаментов вместе с пиллерсами или поддерживающими переборками. В районе особенно крупных отверстий в машинных шахтах могут требоваться распорки. Они должны быть расположены в одной плоскости с рамными бимсами.

4.4.1.7 Размеры связей конструкции должны быть не меньше требуемых размеров для границ танков, если палуба является границей танка.

4.4.1.8 Размеры связей не должны быть меньше требуемых размеров водонепроницаемых переборок, если палуба является границей непроницаемого пространства.

4.4.2 Размеры связей палубы

4.4.2.1 Толщина листа настила палубы должна соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.1*.

4.4.2.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости палубы должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.2* и *4.8.1.3*.

4.4.2.3 Высота стенок ребер жесткости палубы должна быть не менее 60 мм.

4.4.2.4 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.2*.

4.4.2.5 Обшивка стенок главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 10 % неподдерживаемого участка изгиба.

4.4.2.6 В районе концентрированных нагрузок, возникающих под действием тяжеловесного оборудования, размеры связей конструкции палубы следует определять на основании фактической нагрузки.

4.4.3 Пиллерсы

4.4.3.1 Где возможно, оси пиллерсов должны располагаться по одной вертикали; также должны быть приняты эффективные меры для распределения нагрузки на концах всех пиллерсов. Если пиллерсы поддерживают эксцентрические нагрузки, они должны иметь подкрепления для того, чтобы выдержать прикладываемый к ним дополнительный изгибающий момент.

4.4.3.2 Концы трубчатых пиллерсов и полых пиллерсов прямоугольного сечения должны крепиться кницами или накладными /утолщенными вварными листами, где возможно, для эффективной передачи нагрузки. Концы пиллерсов должны крепиться при помощи непрерывных сварных швов. На концах пиллерсов, изготовленных из сортового проката, нагрузка должна распределяться при помощи книц или других эквивалентных средств.

4.4.3.3 В двойном дне под пиллерсами, установленными на большом расстоянии, соединения флоров с балками, и флоров и брусьев со вторым дном должны быть надлежащим образом увеличены. Там, где пиллерсы не устанавливаются непосредственно над местом пересечения сплошных флоров и балок, следует установить частичные и разрезные флоры для обеспечения опорных конструкции для пиллерсов. Лазы не должны быть вырезаны во флорах и балках, расположенных ниже нижних концов пиллерсов.

4.4.3.4 Пиллерсы в танках должны быть изготовлены из целиковых заготовок прямоугольного сечения. Там, где гидростатическое давление может привести к возникновению растягивающих напряжений в пиллерсе, растягивающее напряжение пиллерса и его концевых соединений не должно превышать 45 % от заданного минимального предела текучести материала.

4.4.3.5 Размеры связей пиллерсов должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.4*.

4.4.3.6 Если нагрузки на пиллерсы от тяжеловесного оборудования превышают расчетную нагрузку, требуемую в соответствии с *4.8.4*, размеры связей пиллерсов следует определять на основании фактических нагрузок.

4.5 Фундаменты под механизмы

4.5.1 Общие положения

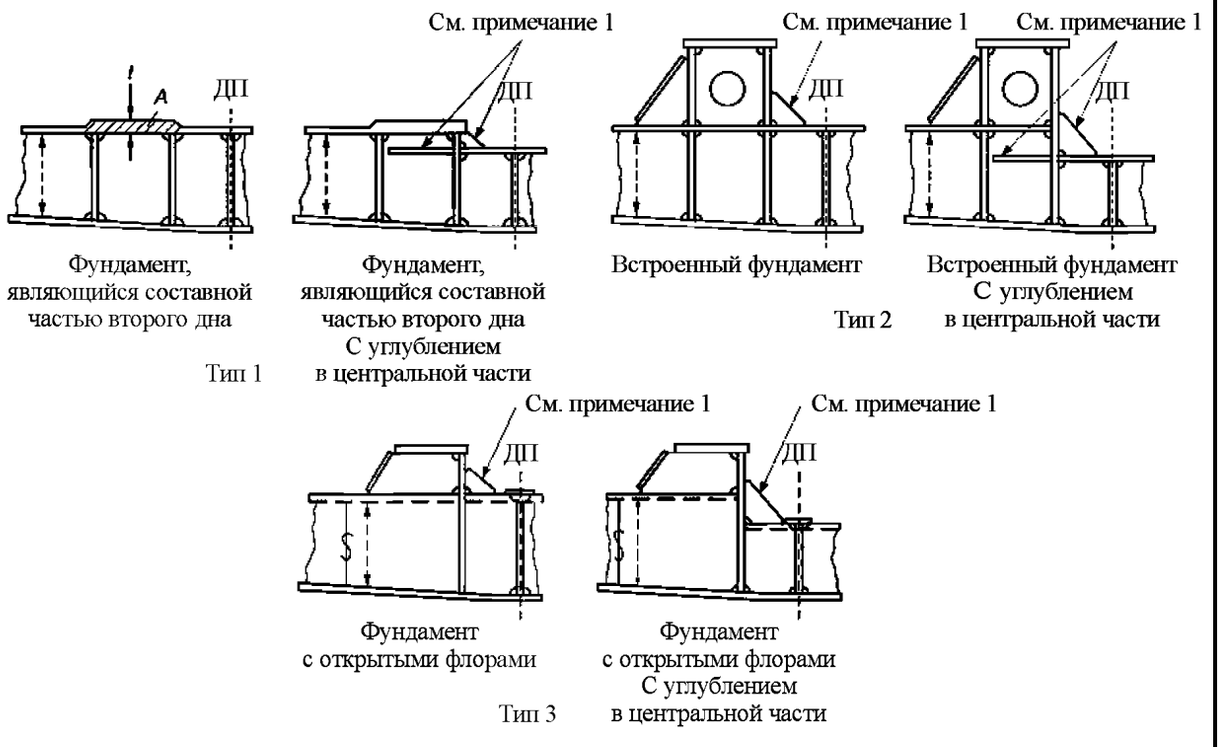
4.5.1.1 Главные двигатели и упорные подшипники следует эффективно закрепить на корпусной конструкции при помощи фундаментов, имеющих достаточную прочность для того, чтобы выдерживать действие силы тяжести, осевой, крутящей, динамической и вибрационной сил, которые могут быть к ним приложены.

4.5.1.2 Если судно оснащено более мощными двигателями внутреннего сгорания или турбинными установками, фундаменты обычно должны представлять собой часть конструкции двойного дна. Следует учитывать значительное увеличение толщины обшивки второго дна в районе расположения фундаментной плиты двигателя или корпуса привода турбины, а также упорного подшипника, см. *рис. 8.4.1*, тип 1.

4.5.1.3 Для главных механизмов, поддерживаемых фундаментами типа 2, как показано на *рис. 8.4.1*, силы, действующие со стороны двигателя на смежную конструкцию, должны быть как можно более равномерно распределены. Продольные элементы конструкции, поддерживающие фундамент, должны быть отцентрированы относительно балок двойного дна, а поперечные ребра жесткости должны быть расположены в одной плоскости с флорами, см. *рис. 8.4.1*, тип 2.

4.5.1.4 Для судов с открытыми флорами в машинном помещении фундаменты, как правило, следует располагать выше уровня верхней части флоров и надежно закреплять кницами, см. *рис. 8.4.1*, тип 3.

Рис. 8.4.1
Фундаменты под механизмы



Примечание

1. Бракеты должны быть настолько большими, насколько возможно. Во избежание пересечения со стенками фундамента под двигатель бракеты могут не устанавливаться в соответствии с рекомендациями изготовителя двигателя.

4.5.2 Фундаменты под двигатели внутреннего сгорания и упорные подшипники

4.5.2.1 При определении размеров связей фундаментов под двигатели внутреннего сгорания и упорные подшипников следует учитывать общую жесткость двигателя и его расчетные характеристики с точки зрения дисбалансирующих сил.

4.5.2.2 Как правило, в районе расположения фундамента под двигателями внутреннего сгорания и упорными подшипниками следует установить две балки.

Рекомендации:

Как правило, полная толщина опорных листов фундамента должна составлять не менее 45 мм, при этом максимальная непрерывная производительность приводных механизмов равна 3500 кВт или более.

4.5.3 Фундаменты под вспомогательные механизмы

4.5.3.1 Вспомогательные механизмы следует закреплять на фундаментах, имеющих надлежащий размер и конструкцию для равномерного распределения нагрузки от механизмов на опорной конструкции.

4.6 Переборки танков

4.6.1 Общие положения

4.6.1.1 Может потребоваться деление танков или сооружение внутри них погружных отбойных листов для минимизации динамической нагрузки на конструкцию.

4.6.2 Конструкция

4.6.2.1 Ни в коем случае размеры связей переборок, образующих границы танка, не должны быть меньше, чем требуемые для водонепроницаемых переборок.

4.6.3 Размеры связей переборок, образующих границы танка

4.6.3.1 Толщина обшивки переборки, образующей границу танка, должна соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.1*.

4.6.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.2* и *4.8.1.3*.

4.6.3.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.2*.

4.6.3.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 14 % от неподдерживаемого участка при изгибе.

4.7 Водонепроницаемые границы танка

4.7.1 Общие положения

4.7.1.1 Водонепроницаемые границы танка, находящиеся в пределах машинного помещения, должны быть установлены в соответствии с требованиями *раздела 5/2*.

4.7.2 Размеры связей непроницаемых границ танка

4.7.2.1 Толщина обшивки непроницаемой границы танка должна соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.1*.

4.7.2.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.1.2* и *4.8.1.3*.

4.7.2.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *4.8.2*.

4.7.2.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь глубину не меньше, чем 10 % неподдерживаемого участка при изгибе.

4.8 Требования к размерам связей

4.8.1 Обшивка и элементы основного набора

4.8.1.1 Для обшивки, находящейся под действием бокового давления, толщина нетто обшивки должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*, однако с использованием коэффициента допустимого напряжения при изгибе, C_a, указанного в *табл. 8.4.2*.

4.8.1.2 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, требования к моменту сопротивления сечения нетто должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2*, однако с использованием коэффициента допустимого напряжения при изгибе, C_s, указанного в *табл. 8.4.3*.

4.8.1.3 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, толщина нетто стенок, основанная на требованиях к площади сдвига, должна соответствовать требованиям *3.9.2.3*.

Таблица 8.4.2

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для обшивки

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для обшивки, C_a, для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки следует принимать равным:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}, \text{ но не более } C_{a\text{-}max},$$

где β_a, α_a, C_a;

Совокупность критериев приемлемости	Конструктивный элемент		β_a	α_a	$C_{a\text{-}max}$
AC1	Продольные несущие элементы	Обшивка с продольными ребрами жесткости	0,9	0,5	0,8
		Обшивка с поперечными или вертикальными ребрами жесткости	0,9	1,0	0,8
	Прочие элементы		0,8	0	0,8
AC2	Продольные несущие элементы	Обшивка с продольными ребрами жесткости	1,05	0,5	0,95
		Обшивка с поперечными или вертикальными ребрами жесткости	1,05	1,0	0,95
	Прочие элементы, включая обшивку непроницаемой границы танка		1,0	0	1,0

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*

$$= \frac{(z - z_{NA-net50})M_{v-total}}{I_{v-net50}} 10^{-3} \text{ Н/мм}^2,$$

$M_{v\text{-}total}$ расчетный вертикальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кНм. Изгибающий момент на тихой воде, $M_{sw\text{-}perm}$, следует брать с тем же знаком, что и одновременно действующий волновой изгибающий момент, M_{wv}, см. *табл. 7.6.1*;

$I_{v\text{-}net50}$ момент инерции нетто вертикального бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

z вертикальная координата рассматриваемой точки расчета, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.4.3

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для ребер жесткости

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для ребер жесткости, C_s, следует принимать как:

Знак напряжения при изгибе эквивалентного бруса корпуса, σ_{hg}	**Сторона, на которую действует давление**	**Критерии приемлемости**
Растяжение (+ ve)	Сторона ребра жесткости	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{\lvert\sigma_{hg}\rvert}{\sigma_{yd}}$ но не более $C_{s\text{-}max}$
Сжатие (- ve)	Сторона листового элемента	
Растяжение (+ ve)	Сторона листового элемента	$C_s = C_{s\text{-}max}$
Сжатие (- ve)	Сторона ребра жесткости	

где β_s, α_s, $C_{s\text{-}max}$ коэффициенты допустимого напряжения при изгибе, должны приниматься как:

Совокупность критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	**β_s**	**α_s**	**$C_{s\text{-}max}$**
АС1	Продольные эффективные ребра жесткости	0,85	1,0	0,75
	Прочие ребра жесткости	0,75	0	0,75
АС2	Продольные эффективные ребра жесткости	1,0	1,0	0,9
	Прочие ребра жесткости	0,9	0	0,9
	Водонепроницаемые ребра жесткости, образующие границы танка	0,9	0	0,9

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного в исходной точке, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*

$$= \left(\frac{(z - z_{NA\text{-}net50}) M_{v\text{-}total}}{I_{v\text{-}net50}} \right) 10^{-3} \text{ Н/мм}^2;$$

$M_{v\text{-}total}$ расчетный вертикальный изгибающий момент в рассматриваемом продольном положении для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, кНм;

$M_{v\text{-}total}$ должен рассчитываться в соответствии с *табл. 7.6.1* с использованием изгибающего момента при перегибе или прогибе на тихой воде;

Расположение ребра жесткости	**$M_{sw\text{-}perm}$**	
	Давление, действующее на сторону листовых элементов	**Давление, действующее на сторону ребра жесткости**
Выше нейтральной оси	Изгибающий момент при прогибе на тихой воде	Изгибающий момент при перегибе на тихой воде
Ниже нейтральной оси	Изгибающий момент при перегибе на тихой воде	Изгибающий момент при прогибе на тихой воде

$I_{v\text{-}net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

z вертикальная координата исходной точки, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

4.8.2 Главные несущие элементы

4.8.2.1 Для главных несущих элементов, пересекающихся или расположенных в районе криволинейных секций корпуса, эффективность концевых бракет должна включать припуск на криволинейность корпуса.

4.8.2.2 Для главных несущих элементов, находящихся под действием бокового давления, требование к моменту сопротивления сечения нетто должно соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3.2*.

4.8.2.3 Для главных несущих элементов, находящихся под действием бокового давления, площадь поперечного сечения нетто стенки должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3.3*.

4.8.2.4 Главные несущие элементы, как правило, должны подвергаться анализу с использованием конкретных методов, как предписывается для конкретного типа конструкции. Для того, чтобы гарантировать, что номинальный уровень напряжения для всех главных несущих элементов меньше, чем допустимые напряжения и коэффициенты напряжений, указанные в *3.9.3.2* и *3.9.3.3*, при воздействии применимых вариантов расчетной нагрузки, могут потребоваться более расширенные методы расчета.

4.8.3 Гофрированные переборки

4.8.3.1 Одобрению гофрированных переборок, если установлены, будет уделяться особое внимание.

Рекомендации

В качестве базовой информации могут использоваться требования к размерам связей гофрированных переборок, см. *2.5.6* и *2.5.7*.

4.8.4 Пиллерсы

4.8.4.1 Максимальная нагрузка на пиллерс должна быть меньше, чем допустимая нагрузка на пиллерс в соответствии с требованиями, указанными в *3.9.5*.

5 Кормовая оконечность

5.1 Общие положения

5.1.1 Область применения

5.1.1.1 Требования данного Подраздела применяются к конструкциям, расположенными между ахтерпиковой переборкой и кормовой оконечностью судна.

5.1.1.2 Требования данного Подраздела не применяются к следующим элементам:

а) кронштейны руля;
б) конструкции, не являющиеся частью корпуса, такие как рули, поворотные насадки гребных винтов и движители;
в) прочие дополнительные устройства, постоянно установленные на корпусе.
В случае установки таких элементов следует выполнять требования конкретного классификационного общества.

5.1.1.3 Размеры связей нетто, описанные в *5.1 – 5.7*, соотносятся с полными размерами следующим образом:

а) в целях применения требований по минимальной толщине, указанных в *5.1.4*, полная толщина получается, исходя из применимых требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

б) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

в) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления половины полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

г) в целях применения требований к устойчивости, указанных в *разделе 10/2,* полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3.*

5.1.2 Общие требования к размерам связей корпуса

5.1.2.1 Конструкция корпуса должна соответствовать применимым требованиям к:

а) продольной прочности вертикального бруса, см. *раздел 8/1;*

б) устойчивости к ударам жидкости о стенки танка и ударным нагрузкам, см. *раздел 8/6;*

в) устойчивости/предельной прочности, см. *раздел 10.*

5.1.2.2 Толщина настила палубы и опорные конструкции должны быть надлежащим образом усилены в районе расположения рулевых устройств, брашпилей и прочих палубных механизмов. См. *раздел 11/3.*

5.1.2.3 Момент сопротивления сечения нетто, площадь сдвига и прочие свойства сечения элементов основного набора и главных несущих элементов должны определяться в соответствии с *разделом 4/2.*

5.1.2.4 Момент сопротивления сечения и толщина стенки элементов основного набора применяются к районам, где отсутствуют концевые бракеты. Момент сопротивления сечения и площади сдвига поперечного сечения главных несущих элементов следует применять в соответствии с примечаниями к *табл. 8.3.5.*

5.1.2.5 Критерии размеров связей корпуса основаны на предположениях, что все конструктивные соединения и сварные элементы спроектированы и изготовлены таким образом, что они совместимы с предполагаемыми уровнями рабочего напряжения в рассматриваемых районах. При проектировании конструкций в районах повышенной нагрузки следует принимать во внимание варианты загрузки, концентрации нагрузок и потенциальные режимы отказа. Проектные данные конструкций должны соответствовать требованиям, указанным в *разделе 4/3.*

5.1.2.6 Проточные, сливные и вентиляционные отверстия должны быть вырезаны во всех частях конструкции, где необходимо, для того, чтобы обеспечить свободный ток в приемных трубопроводах и выход воздуха в вентиляционные каналы. Также следует предусмотреть приспособления для осушения пространств над диптанками. См. также *раздел 4/3.*

5.1.3 Непрерывность конструкции

5.1.3.1 Размеры наружной обшивки корпуса, верхней палубы и второго дна должны постепенно уменьшаться в сторону носовой оконечности. См. также *1.6.*

5.1.3.2 В зонах перехода в нос от ахтерпика в машинное помещение следует обращать особое внимание на постепенное уменьшение главных несущих элементов.

5.1.3.3 Продольный набор прочной палубы должен находиться в корму от киля.

5.1.3.4 Все шпангоуты обшивки и ребра жесткости границ танка должны быть непрерывными или соединены по концам бракетами, кроме разрешенных случаев, указанных в *разделах 4/3.2.4* и *4/3.2.5.* См. также *раздел 4/3.2.*

5.1.4 Минимальная толщина

5.1.4.1 В дополнение к требованиям в отношении толщины, момента сопротивления сечения и площади сдвига стенки ребра жесткости, указанным в *5.2 – 5.7*, толщина обшивки и ребер жесткости в кормовом районе должна соответствовать соответствующим требованиям к минимальной толщине, указанным в *табл. 8.5.1*.

Таблица 8.5.1

Минимальная толщина нетто конструкции в корму от ахтерпиковой переборки

Расположение размеров связей корпуса			**Толщина нетто** (мм)
Обшивка	**Наружная обшивка корпуса до T_{sc} + 4,6 м**	Килевая обшивка	См. *2.1.5.1*
		Днищевая/скуловая/бортовая обшивка	См. *2.1.5.1*
	Наружная обшивка корпуса более T_{sc} + 4,6 м	Бортовая обшивка/обшивка верхней палубы	См. *2.1.5.1*
	Внутренняя конструкция корпуса	Границы внутреннего танка корпуса	См. *2.1.5.1*
		Проницаемые переборки, переборки между сухими пространствами и другие листовые элементы	См. *2.1.5.1*
		Поддерживающие переборки	7,5
Балки днища и флоры ахтерпика			$5,5 + 0,02L_2$
Обшивка стенки главных несущих элементов			$6,5 + 0,015L_2$
Элементы основного набора			См. *2.1.5.1*
Подкрепляющие кницы			См. *2.1.5.1*

где T_{sc} осадка размеров связей корпуса, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*
L_2 длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

5.2 Конструкция днища

5.2.1 Общие положения

5.2.1.1 Флоры должны устанавливаться в каждом пролете шпангоута ахтерпика и доходить по высоте, как минимум, до дейдвудной трубы. В случае, если флоры не достигают плоских листовых элементов или палуб, они должны на верхнем конце подкрепляться фланцами.

5.2.1.2 Вертикальный киль должен продолжаться настолько далеко, насколько это возможно, и прикрепляться к килю.

5.2.2 Флоры и балки ахтерпика

5.2.2.1 Высота ребер жесткости, h_{stf}, флоров и балок должна быть не менее:

$h_{stf} = 80,0l_{stf}$, мм, для ребер жесткости из плоского сортового проката;
$h_{stf} = 70,0l_{stf}$, мм, для профилей бульбов и ребер жесткости с фланцами,

где l_{stf} длина ребра жесткости, как показано на *рис. 8.5.1*, м.

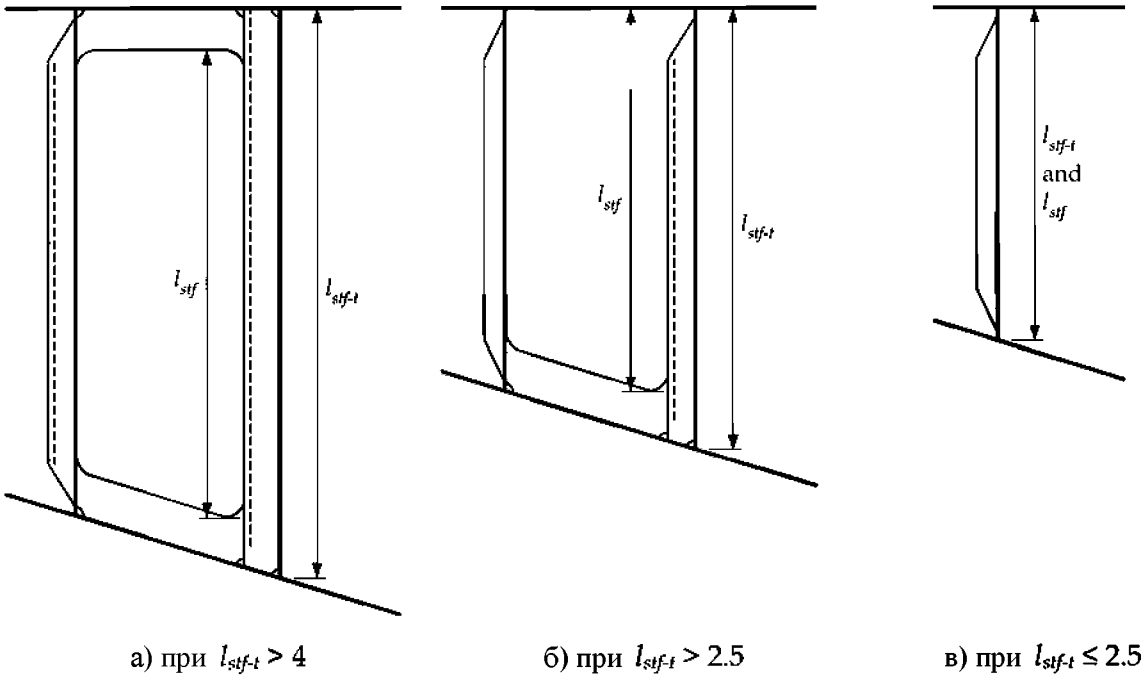
5.2.2.2 В дополнение к требованиям *5.2.2.1*, ребра жесткости должны иметь концевые бракеты так, как указано ниже:

а) бракеты следует установить на нижнем и верхнем концах, если l_{stf-t} превышает 4 м;

(б) брекеты следует установить на нижнем конце, если l_{stf-t} превышает 2,5 м,

где l_{stf-t} общая длина ребра жесткости, как показано на *рис. 8.5.1*, м.

Рис. 8.5.1
Подкрепление флоров и балок на ахтерпике



а) при $l_{stf-t} > 4$ б) при $l_{stf-t} > 2.5$ в) при $l_{stf-t} \leq 2.5$

5.2.2.3 В районе задней поверхности кронштейна и на одной плоскости со стенками кронштейна руля следует установить тяжелые сплошные флоры. Может потребоваться продлить их до первой палубы или плоского листового элемента. В этом районе следует свести к минимуму наличие вырезов и прочих отверстий.

5.2.3 Ахтерштевни

5.2.3.1 Ахтерштевни могут изготавливаться из стальных листов или стальных отливок. Спецификации применимых материалов и марки стали см. в *табл. 6.1.3*. Ахтерштевни из других материалов или другой конструкции являются предметом специального рассмотрения.

5.2.3.2 Размеры связей корпуса под ступицами на ахтерштевнях для судов с одним винтом должны соответствовать требованиям, указанным в *5.2.3.3* или *5.2.3.4*, в зависимости от того, что применимо.

5.2.3.3 Изготовленные ахтерштевни должны соответствовать следующим критериям:

а) $t_{grs} \geq 2{,}25\sqrt{L}$ мм;

б) $w_{stn} \geq 450$ мм;

в) $$t_{grs} \geq \frac{C_f L^{1,5}}{w_{stn}^2 \sqrt{1 + \left(\frac{2 l_{stn}}{w_{stn}}\right)^2}}$$ мм,

где t_{grs} полная толщина отливки на конце, мм;
w_{stn} ширина ахтерштевня, мм, см. *рис. 8.5.2а;*
l_{stn} длина ахтерштевня, мм, см. *рис. 8.5.2а;*
L длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*
C_f = 9600.

5.2.3.4 Литые ахтерштевни должны соответствовать следующим критериям:

а) $t_{1\text{-}grs} \geq 3{,}0\sqrt{L}$ мм, но не менее 25 мм;

б) $t_{2\text{-}grs} \geq 1{,}25\, t_{1\text{-}grs}$ мм;

в) $$\frac{(t_{1\text{-}grs} + t_{2\text{-}grs})}{2} \geq \frac{C_f L^{1,5}}{w_{stn}^2 \sqrt{1 + \left(\frac{2l_{stn}}{w_{stn}}\right)^2}}$$ мм,

где $t_{1\text{-}grs}$ полная толщина отливки на конце, мм, см. *рис. 8.5.2б;*
$t_{2\text{-}grs}$ полная толщина отливки на половине длины, мм, см. *рис. 8.5.2б;*
w_{stn} ширина ахтерштевня, мм, см. *рис. 8.5.2б;*
l_{stn} длина ахтерштевня, мм, см. *рис. 8.5.2б;*
L длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*
C_f = 8400.

Толщина сварных швов встык к наружной обшивке может постепенно уменьшаться до значений ниже t_1 при длине сужения, как минимум, в три раза превышающей отклонение.
Из отливок следует удалить сердцевину во избежание появления толстого слоя материала, который, возможно, будет иметь дефекты, и для поддержания относительно равномерного сечения по всей длине. Также в районе изменения сечения следует выдерживать соответствующий радиус.

5.2.3.5 Выше ступицы размеры связей корпуса должны соответствовать требованиям, указанным в *5.2.3.2 – 5.2.3.4*, за исключением верхней части окна ахтерштевня. Если корпус имеет полные обводы, и имеются диаметральные опоры, толщина может быть уменьшена до 80 % от применимых требований, указанных в *5.2.3.2 – 5.2.3.4*.

5.2.3.6 Если на кормовом конце ахтерштевней используются круглые брусья, их размеры и детали крепления должны облегчать сварку.

5.2.3.7 Ребра или горизонтальные кницы толщиной не менее $0{,}8t_{grs}$ или $0{,}8t_{1\text{-}grs}$ следует установить с надлежащими интервалами; где t_{grs} и $t_{1\text{-}grs}$, как указано в *5.2.3.3* и *5.2.3.4*. Если t_{grs} или $t_{1\text{-}grs}$ уменьшаются в соответствии с *5.2.3.5*, допускается пропорциональное уменьшение толщины ребер или горизонтальных книц.

5.2.3.8 Петли руля должны представлять собой неотъемлемую часть ахтерштевня и соответствовать требованиям конкретного классификационного общества.

5.3 Конструкция наружной обшивки

5.3.1 Наружная обшивка

5.3.1.1 Толщина бортовой наружной обшивки и транцевой обшивки, t_{net}, должна соответствовать требованиям *3.9.2.1* и быть не менее чем:

$$t_{net} = 0{,}035\,(L_2 - 42) + 0{,}009\,s \quad \text{мм},$$

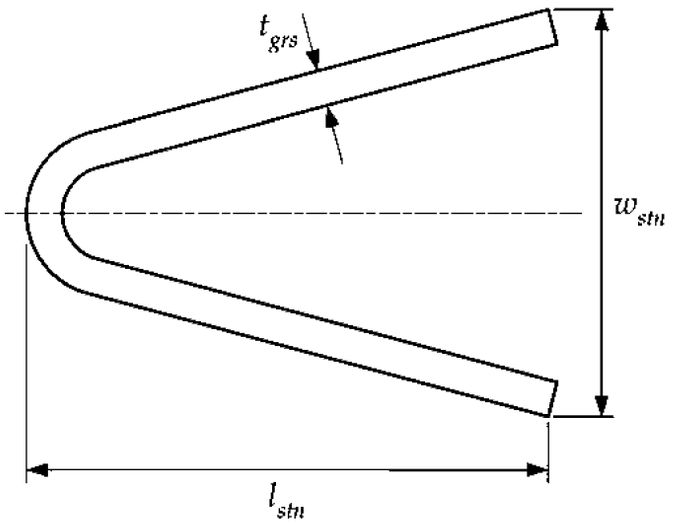
где L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2.*

5.3.1.2 Толщина наружной обшивки, t_{net}, установленной на ахтерпике, должна соответствовать требованиям *3.9.2.1* и быть не менее чем:

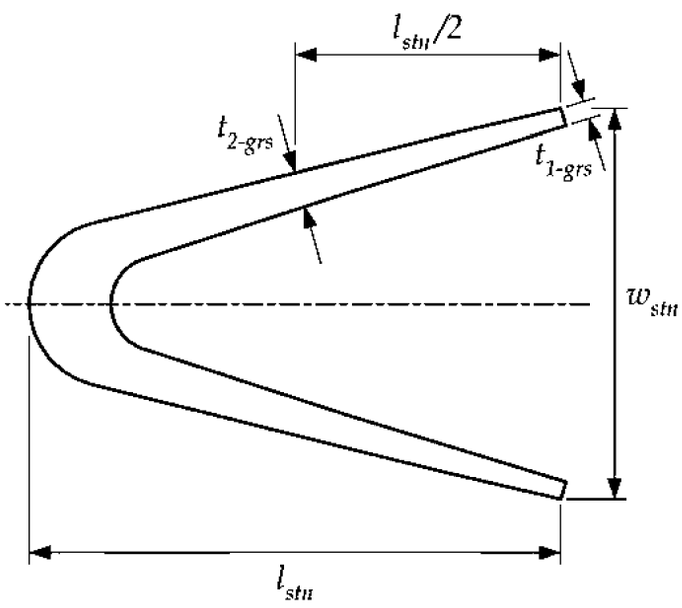
$t_{net} = 0{,}094\,(L_2 - 43) + 0{,}009\,s$ мм,

где L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1,* но не более 300 м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2.*

Рис. 8.5.2
Ахтерштевень



а Изготовленный



б Литой

5.3.1.3 В районе ступицы и торцевого листа толщина наружной обшивки нетто, t_{net}, должна быть не менее чем:

$t_{net} = 0{,}105\,(L_2 - 47) + 0{,}011\,s$ мм,

где L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1,* но не более 300 м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2.*

5.3.1.4 В пределах, указанных в *2.2.4.3*, толщина наружной обшивки борта должна соответствовать требованиям *2.2.4.2*.

5.3.1.5 Тяжелые листы наружной обшивки следует устанавливать локально в местах расположения тяжелых сплошных флоров, как требуется в *5.2.2.3*. Ближе к борту от тяжелых флоров толщина тяжелых листов наружной обшивки может уменьшаться как можно более постепенно. Если обшивка кронштейна закругляется по радиусу в наружную обшивку, радиус в месте соединения с наружной обшивкой, r, должен быть не менее чем:

$r = 150 + 0{,}08\,L_2$ мм,

где L_2 длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

5.3.2 Элементы основного набора наружной обшивки

5.3.2.1 Момент сопротивления сечения и толщина набора наружной обшивки корпуса должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

5.3.3 Главные несущие элементы наружной обшивки

5.3.3.1 Требования *5.3.3* применяются к конструкции одинарной обшивки борта, поддерживаемой системой вертикальных балок и/или горизонтальных стрингеров или полос.

5.3.3.2 Если используется система продольного набора, продольные элементы должны поддерживаться вертикальными главными несущими элементами, продлевающимися от флоров до верхней палубы. Рамные бимсы должны устанавливаться в той же плоскости, что и рамные шпангоуты.

5.3.3.3 Если используется система поперечного набора, поперечные элементы должны поддерживаться горизонтальными главными несущими элементами, проходящими между вертикальными главными несущими элементами.

5.3.3.4 Размеры связей опор рамного шпангоута, продольного набора, стрингеров и поперечного набора следует определять в соответствии с *3.9.3*.

5.3.3.5 Высота балки главных несущих элементов должна быть не менее 14 % участка изгиба и равняться, как минимум, 2,5 глубины пазов для ребер жесткости, если эти пазы не закрыты.

5.4 Конструкция палубы

5.4.1 Настил палубы

5.4.1.1 Толщина настила палубы должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

5.4.1.2 В дополнение к требованиям *5.4.1.1*, толщина настила палуб нетто, t_{net}, должна быть не менее, чем:

$t_{net} = 0{,}009\,s$ мм,

где s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2*.

5.4.2 Ребра жесткости палубы

5.4.2.1 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости палубы должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

5.4.3 Главные несущие элементы палубы

5.4.3.1 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3*.

5.4.3.2 Обшивка стенок главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 10 % неподдерживаемого участка изгиба.

5.4.3.3 В районе концентрированных нагрузок, возникающих под действием тяжеловесного оборудования, размеры связей конструкции палубы следует определять на основании фактической нагрузки. См. также *раздел 11/3*.

5.4.4 Пиллерсы

5.4.4.1 Где возможно, оси пиллерсов должны располагаться по одной вертикали; также должны быть приняты эффективные меры для распределения нагрузки на концах всех пиллерсов. Если пиллерсы поддерживают эксцентрические нагрузки, они должны иметь подкрепления для того, чтобы выдержать прикладываемый к ним дополнительный изгибающий момент.

5.4.4.2 Концы трубчатых пиллерсов и полых пиллерсов прямоугольного сечения должны крепиться кницами или накладными /утолщенными вварными листами, где возможно, для эффективной передачи нагрузки. Концы пиллерсов должны крепиться при помощи непрерывных сварных швов. На концах пиллерсов, изготовленных из сортового проката, нагрузка должна распределяться при помощи книц или других эквивалентных средств.

5.4.4.3 Пиллерсы в танках должны быть изготовлены из целиковых заготовок прямоугольного сечения. Там, где гидростатическое давление может привести к возникновению растягивающих напряжений в пиллерсе, растягивающее напряжение пиллерса и его концевых соединений не должно превышать 45 % от заданного минимального предела текучести материала.

5.4.4.4 Размеры связей пиллерсов должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.5*.

5.4.4.5 Если нагрузки на пиллерсы от тяжеловесного оборудования превышают расчетную нагрузку, требуемую в соответствии с *3.9.5*, размеры связей пиллерсов следует определять на основании фактических нагрузок.

5.5 Переборки танков

5.5.1 Общие положения

5.5.1.1 Может потребоваться деление танков или сооружение внутри них погружных отбойных листов для минимизации динамической нагрузки на конструкцию.

5.5.2 Конструкция

5.5.2.1 Ни в коем случае размеры связей переборок, образующих границы танка, не должны быть меньше, чем требуемые для водонепроницаемых переборок.

5.5.3 Размеры связей переборок, образующих границы танка

5.5.3.1 Толщина обшивки переборки, образующей границу танка, должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

5.5.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

5.5.3.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3*.

5.5.3.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь высоту не менее 14 % от неподдерживаемого участка при изгибе.

5.6 Водонепроницаемые границы танка

5.6.1 Общие положения

5.6.1.1 Водонепроницаемые границы танка должны быть установлены в соответствии с требованиями *раздела 5/2*.

5.6.1.2 Количество отверстий в непроницаемых переборках должно сводиться к минимуму в соответствии с конструкцией и эксплуатацией судна. Если проходы через водонепроницаемые переборки и внутренние палубы необходимы для доступа, прокладки трубопроводов системы вентиляции, электрических кабелей и т.п., следует предусмотреть наличие устройств, обеспечивающих водонепроницаемость.

5.6.2 Ахтерпиковая переборка

5.6.2.1 Следует установить ахтерпиковую переборку, соответствующую требованиям *раздела 5/2.3*.

5.6.2.2 Размеры связей конструктивных элементов ахтерпиковой переборки должны соответствовать требованиям *5.5* и *5.6.3*, в зависимости от того, что применимо.

5.6.3 Размеры связей водонепроницаемых границ танка

5.6.3.1 Толщина обшивки водонепроницаемой границы танка должна соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.1*.

5.6.3.2 Момент сопротивления сечения и толщина ребер жесткости должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.2.2* и *3.9.2.3*.

5.6.3.3 Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны соответствовать требованиям, указанным в *3.9.3*.

5.6.3.4 Обшивка стенки главных несущих элементов должна иметь глубину не меньше, чем 10 % неподдерживаемого участка при изгибе.

5.7 Прочие конструкции

5.7.1 Поддерживающие переборки

5.7.1.1 Переборки, поддерживающие балки, или пиллерсы и продольные переборки, установленные в месте расположения балок, должны иметь ребра жесткости, чтобы обеспечить опору не менее эффективную, чем требуется для стоек или пиллерсов. Действующая нагрузка и требуемая площадь нетто поперечного сечения пиллерса определяются, исходя из требований *5.4.4*. Момент инерции нетто ребра жесткости следует рассчитывать на ширину $40t_{net}$, где t_{net} – толщина нетто обшивки, мм.

5.7.1.2 Поддерживающие переборки должны соответствовать следующим требованиям:

а) расстояние между ребрами жесткости переборки не должно превышать 1500 мм;
б) если переборка гофрированная, высота гофра не должна быть менее 100 мм.

5.7.2 Рулевая шахта

5.7.2.1 Габаритные размеры рулевой шахты должны соответствовать наружной обшивке и набору, указанным в *5.3.1* и *5.3.2*. Если рулевая шахта открыта в сторону забортной воды, над ватерлинией самой глубокой осадки в грузу следует установить уплотнение или сальник для предотвращения попадания воды в отсек рулевого привода.

5.7.3 Туннели кормового подруливающего устройства

5.7.3.1 Толщина обшивки нетто туннеля, $t_{tun\text{-}net}$, должна быть не менее значения, требуемого для наружной обшивки вблизи подруливающего устройства. Кроме того, значение $t_{tun\text{-}net}$ должно быть не менее:

$$t_{tun\text{-}net} = 0{,}008\, d_{tun} + 1{,}8 \quad \text{мм},$$

где d_{tun} внутренний диаметр туннеля, мм, но не менее 970 мм.

5.7.3.2 Если выходящие за борт концы туннеля имеют брусьями или решетки, данные брусья или решетки должны быть надежно закреплены.

6 Оценка конструкции на нагрузки от ударов жидкости о стенки танка и ударные нагрузки

6.1 Общие положения

6.1.1 Область применения

6.1.1.1 Требования данного Подраздела включают требования к подкреплениям для местных нагрузок, вызываемых ударами жидкости о стенки танков, в которых перевозятся жидкости, а также локальных ударных нагрузок, которые могут иметь место в носовой конструкции. Нагрузки от ударов жидкости о стенки танка и ударные нагрузки, которые следует применять, как указано в *6.2 – 6.4*, описаны в *разделе 7/4*.

6.1.1.2 Размеры связей корпуса нетто, описанные в данном Подразделе, соотносятся с полными размерами следующим образом:

а) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*

б) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления половины полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3*.

6.1.2 Общие требования к размерам связей корпуса

6.1.2.1 В дополнение к применимым требованиям *раздела 8* следует также учитывать требования *6.2 – 6.4*.

6.1.2.2 Увеличение местных размеров связей корпуса, вызванное действием нагрузок от ударов жидкости о стенки танка и ударных нагрузок, следует производить с учетом подробной информации, избегая при этом твердых включений, надрезов и прочих негативных участков концентрации напряжений.

6.2 Нагрузки от ударов жидкости о стенки танков

6.2.1 Область применения и ограничения

6.2.1.1 Требования, указанные в *6.2,* содержат требования к размерам связей границ и внутренних конструкций танков, испытывающих действие нагрузок от ударов жидкости о стенки танка, как указано в *разделе 7/4.2*, из-за свободного движения жидкости в танках.

6.2.1.2 Конструкции грузовых танков, отстойных цистерн, балластных цистерн и крупных диптанков, например, танков для бункеровки топлива и главных цистерн питьевой воды, следует оценить на нагрузки от ударов жидкости о стенки танков. Малые цистерны оценивать на нагрузки от ударов жидкости о стенки танков не требуется.

6.2.1.3 Все грузовые танки и балластные цистерны должны иметь надлежащие размеры связей корпуса для заполнения танков на неограниченную высоту.

6.2.1.4 Следует выполнить оценку следующих конструктивных элементов:

а) листы и ребра жесткости, образующие границы танков;
б) листы и ребра жесткости, установленные на отбойных переборках;
в) стенки балок и ребра жесткости балок главных несущих элементов, расположенных в танках;
г) подкрепляющие кницы, являющихся опорами для главных несущих элементов, расположенные в танках.

6.2.1.5 Для танков, эффективная ширина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, b_{slh}, у которых превышает $0{,}56B$ или эффективная длина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, l_{slh}, превышает $0{,}13L$, следует проводить дополнительную оценку действия таких нагрузок в соответствии с конкретными процедурами классификационного общества. Эффективная длина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, l_{slh}, и эффективная ширина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка, b_{slh}, определены в *разделе 7/4.2.2* и *разделе 7/4.2.3* соответственно.

6.2.2 Приложение давления от ударов жидкости о стенки танка

6.2.2.1 В соответствии с *6.2.2.2 – 6.2.2.5* следует оценить следующие танки на расчетные давления от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}lng}$ и $P_{slh\text{-}t}$:

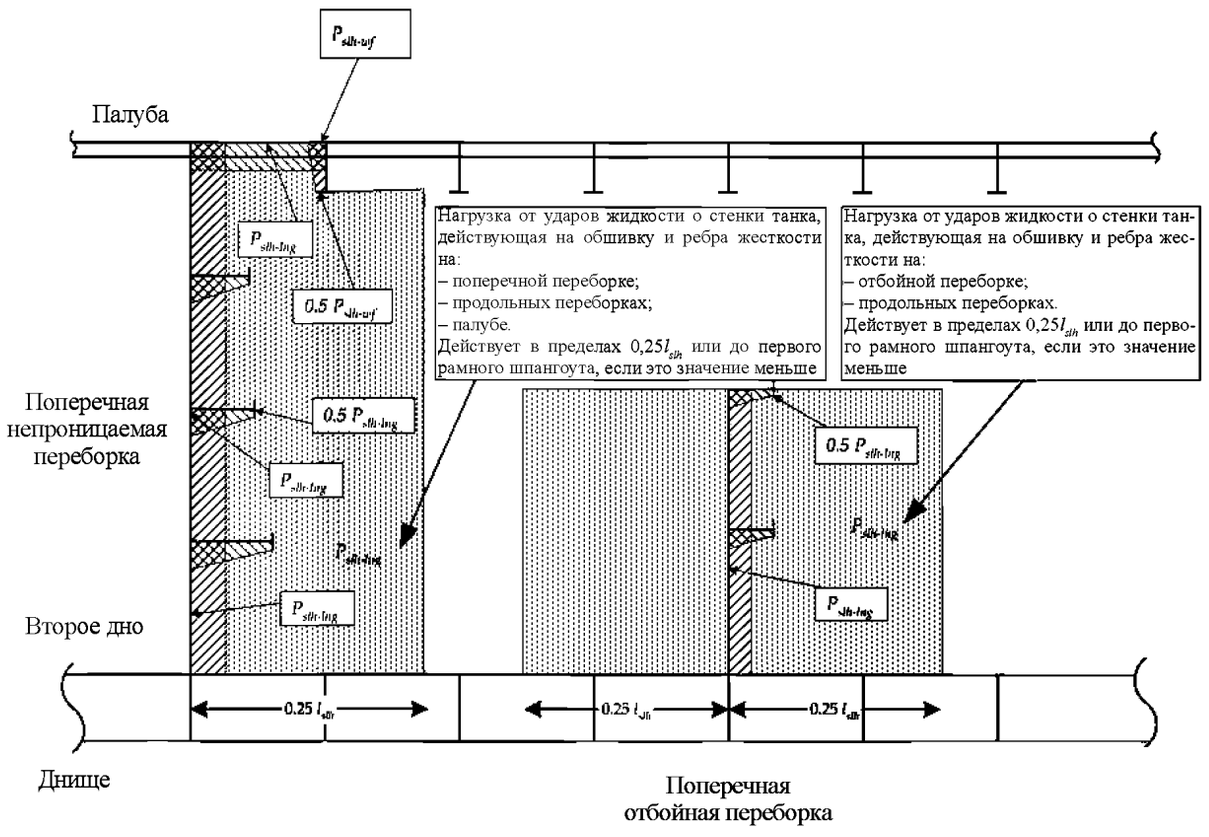
а) грузовые танки и отстойные цистерны;
б) форпиковые и ахтерпиковые балластные цистерны;
в) прочие цистерны, в которых имеет место свободное движение жидкости, за исключением следующих случаев:
• если эффективная длина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка менее $0{,}03L$, расчеты, в которые включено $P_{slh\text{-}lng}$, выполнять не требуется; и
• если эффективная ширина действия нагрузки от ударов жидкости о стенки танка составляет менее $0{,}32B$, расчеты, в которые включено $P_{slh\text{-}t}$ выполнять не требуется.
Расчетное давление от ударов жидкости о стенки других танков, указанных в *6.2.1.2,* следует принимать равным минимальному давлению от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *разделе 7/4.2.4.*

6.2.2.2 Расчетное давление от ударов жидкости о стенки танка, возникающее из-за продольного движения жидкости, $P_{slh\text{-}lng}$, как указано в *разделе 7/4.2.2.1,* следует применять по отношению к следующим конструктивным элементам, как показано на *рис. 8.6.1*:

а) поперечным непроницаемым переборкам;
б) поперечным отбойным переборкам;
в) стрингерам на поперечных непроницаемых и отбойных переборках;

г) обшивке и ребрам жесткости на продольных переборках, палубе и внутреннем корпусе, которые расположены между поперечной переборкой и первым рамным шпангоутом от переборки или переборкой и $0{,}25l_{slh}$, в зависимости от того, что меньше.

Рис. 8.6.1
Приложение нагрузок от ударов жидкости о стенки танка, возникающих из-за продольного движения жидкости



6.2.2.3 В дополнение к *6.2.2.2,* следует оценить первый рамный шпангоут, следующий за поперечной непроницаемой или отбойной переборкой, если этот рамный шпангоут расположен в пределах $0{,}25l_{slh}$ от переборки, как показано на *рис. 8.6.1,* на отраженное давление от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}wf}$, как указано в *разделе 7/4.2.2.5*.

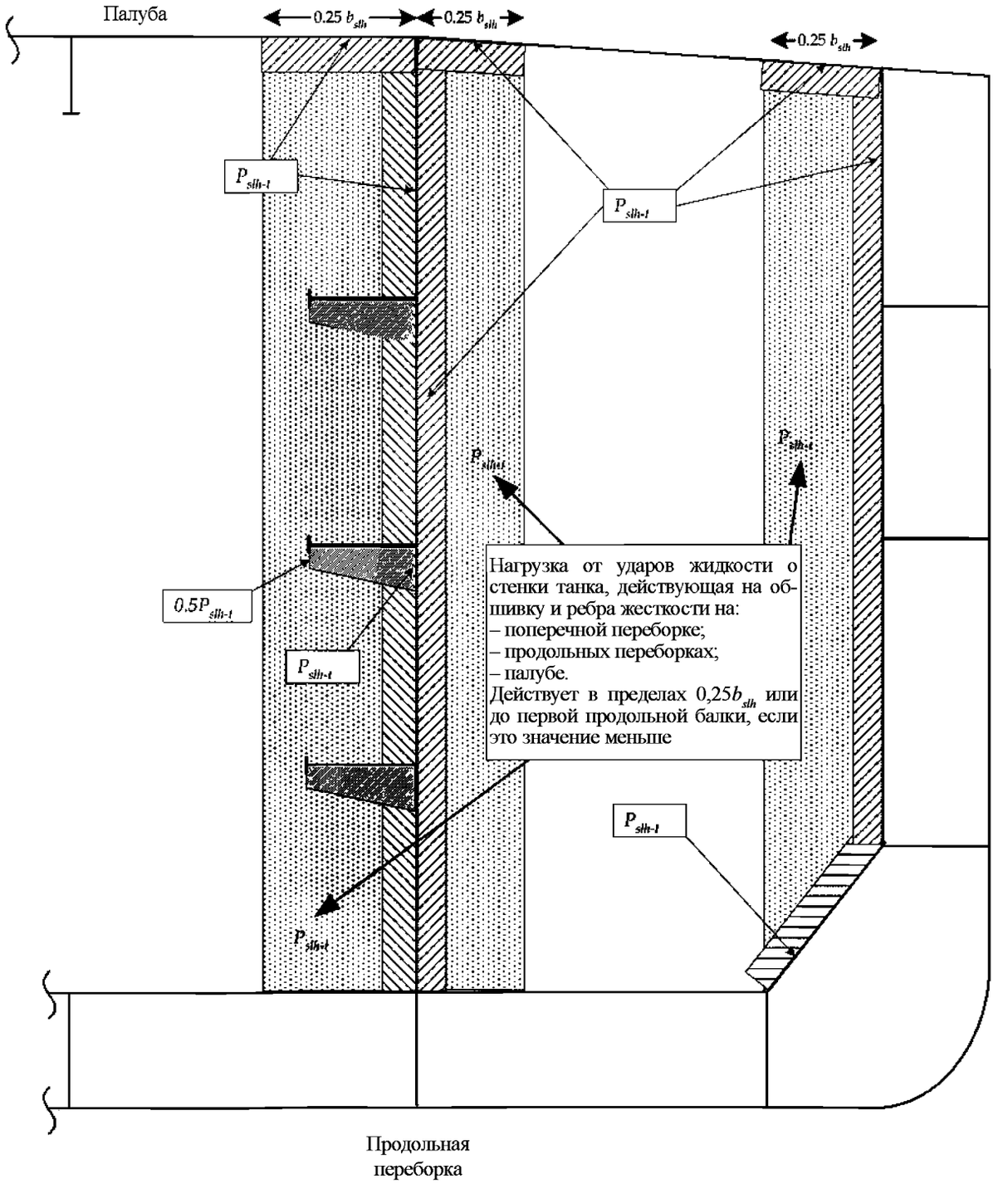
6.2.2.4 Минимальное давление от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *разделе 7/4.2.4,* следует применять ко всем прочим конструктивным элементам.

6.2.2.5 Расчетное давление от ударов жидкости о стенки танка, возникающее из-за поперечного движения жидкости, $P_{slh\text{-}t}$, как указано в *разделе 7/4.2.3.1,* следует применять по отношению к следующим конструктивным элементам, как показано на *рис. 8.6.2*:

а) продольной непроницаемой переборке;
б) продольной отбойной переборке;
в) горизонтальным стрингерам и вертикальным стойкам на продольных непроницаемой и отбойной переборках;
г) обшивке и ребрам жесткости на поперечных непроницаемых переборках, включая стрингеры, палубу и второе дно, расположенные между продольной переборкой и первой балкой от переборки или переборкой и $0{,}25b_{slh}$, в зависимости от того, что меньше.

6.2.2.6 В дополнение к *6.2.2.5* следует оценить первую балку, следующую за продольной непроницаемой или отбойной переборкой, если эта балка расположена в пределах $0{,}25b_{slh}$ от продольной переборки, как показано на *рис. 8.6.2* на отраженное давление от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}grd}$, как указано в *разделе 7/4.2.3.5*.

Рис. 8.6.2
Приложение нагрузок от ударов жидкости о стенки танка, возникающих из-за поперечного движения жидкости



6.2.2.7 Минимальное давление от ударов жидкости о стенки танка, $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *разделе 7/4.2.4*, следует применять ко всем прочим конструктивным элементам.

6.2.2.8 Предполагается, что давления от ударов жидкости о стенки танка, возникающие из-за продольного или поперечного движения жидкости, действуют независимо. Таким образом, конструктивные элементы следует оценивать, исходя из наибольшего давления от ударов жидкости о стенки танка, возникающего из-за продольного или поперечного движения жидкости.

6.2.3 Оценка нагрузки от ударов жидкости на обшивку, образующую границы танка

6.2.3.1 Толщина нетто обшивки, образующей границы танка, t_{net}, которая находится под давлением от ударов жидкости о стенки танка, должна быть не менее чем:

$$t_{net} = 0{,}0158\,\alpha_p\, s\sqrt{\frac{P_{slh}}{C_a\,\sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$= 1{,}2 - \dfrac{s}{2100\,l_p}$, но не более 1,0;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_p длина панели, которую следует принимать как расстояние между главными несущими элементами, S, за исключением случаев, когда установлены карлингсы, м;

P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2;*

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.6.1;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.2.4 Оценка нагрузки от ударов жидкости на ребра жесткости границ танков

6.2.4.1 Момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, ребер жесткости границ танков, находящихся под действием давления от ударов жидкости о стенки танка, должен быть не менее чем:

$$Z_{net} = \frac{P_{slh}\, s\, l_{bdg}^2}{f_{bdg}\, C_s\, \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где l_{bdg} эффективный участок изгиба ребра жесткости, как указано в *разделе 4/2.1*, м;

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.6.2;*

P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2;*

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

= 12 для ребер жесткости, закрепленных для предотвращения вращения на каждом конце. Данное требование, как правило, применяется к размерам связей всех непрерывных ребер жесткости;

= 8 для ребер жесткости с одним или обоими концами, не закрепленными для предотвращения вращения. Данное требование , как правило, применяется к прерывающимся ребрам жесткости;

для прочих конфигураций коэффициент изгибающего момента может приниматься, как указано в *табл. 8.3.5.*

6.2.5 Оценка нагрузки от ударов жидкости на главные несущие элементы

6.2.5.1 Обшивка стенки, ребра жесткости стенки балки и подкрепляющие кницы на стрингерах, балках и рамных шпангоутах в грузовых танках и балластных цистернах следует оценивать, исходя из давлений от ударов жидкости о стенки танка, как указано в *6.2.2.*

6.2.5.2 Толщина обшивки стенки главных несущих элементов, t_{net}, должна быть не менее чем:

$$t_{net} = 0{,}0158\,\alpha_p\, s\sqrt{\frac{P_{slh}}{C_a\,\sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$= 1{,}2 - \dfrac{s}{2100\, l_p}$, но не более 1,0;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_p длина панели, среднее расстояние между элементами основного набора на длинных концах панели, обычно между подкрепляющими кницами, м;

P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2.* Давление должно рассчитываться в точке приложения нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*, с учетом распределения нагрузки по всей высоте конструктивного элемента, как показано на *рис. 8.6.1;*

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.6.1;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.2.5.3 Момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, каждого отдельного ребра жесткости обшивки стенки главных несущих элементов, находящегося под действием давления от ударов жидкости о стенки танка, должен быть не менее чем:

$$Z_{net} = \frac{P_{slh}\, s\, l_{bdg}^2}{f_{bdg}\, C_s\, \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2.* Давление должно рассчитываться в точке приложения нагрузки с учетом распределения нагрузки по всей высоте конструктивного элемента, как показано на *рис. 8.6.1* и *8.6.2;*

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{bdg} эффективный участок изгиба стенки ребра жесткости, как указано в *разделе 4/2.14*

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе, как указано в *табл. 8.6.2;*

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

= 12 для ребер жесткости, закрепленных для предотвращения вращения на каждом конце. Данное требование, как правило, применяется к размерам связей всех непрерывных ребер жесткости;

= 8 для ребер жесткости с одним или обоими концами, не закрепленными для предотвращения вращения. Данное требование , как правило, применяется к прерывающимся ребрам жесткости;

для прочих конфигураций коэффициент изгибающего момента может приниматься, как указано в *табл. 8.3.5;*

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.2.5.4 Момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, в районе основания подкрепляющих книц, поддерживающих главные несущие элементы в грузовых танках и балластных цистернах, должен быть не менее чем:

$$Z_{net} = \frac{1000\, P_{slh}\, s_{trip}\, l_{trip}^2}{2\, C_s\, \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2.* Среднее давление может рассчитываться в средней точке подкрепляющей кницы с учетом распределения нагрузки, как показано на *рис. 8.6.1* и *8.6.2;*

s_{trip} среднее расстояние между подкрепляющими кницами или другими главными несущими элементами или переборками, м;

l_{trip} длина подкрепляющей кницы, см *рис. 8.6.3*, м;

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе для подкрепляющих книц

= 0,75;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.2.5.5 Площадь сдвига нетто, $A_{shr\text{-}net}$, после вычета вырезов и пазов, подкрепляющих книц, поддерживающих главные несущие элементы в грузовых танках и балластных цистернах, должна быть не менее чем:

$$A_{shr-net} = 10\, \frac{P_{slh}\, s_{trip}\, l_{trip}}{C_t\, \tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где P_{slh} максимальное значение из $P_{slh\text{-}lng}$, $P_{slh\text{-}t}$ или $P_{slh\text{-}min}$, как указано в *6.2.2*. Среднее давление может рассчитываться в средней точке подкрепляющей кницы с учетом распределения нагрузки, как показано на *рис. 8.6.1* и *8.6.2;*

s_{trip} среднее расстояние между подкрепляющими кницами или другими главными несущими элементами или переборками, м;

l_{trip} длина подкрепляющей кницы, см *рис. 8.6.3*, м;

C_t коэффициент допустимого напряжения при сдвиге для подкрепляющих книц, как указано в *табл. 8.6.3;*

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Рис. 8.6.3
Эффективная длина подкрепляющей кницы

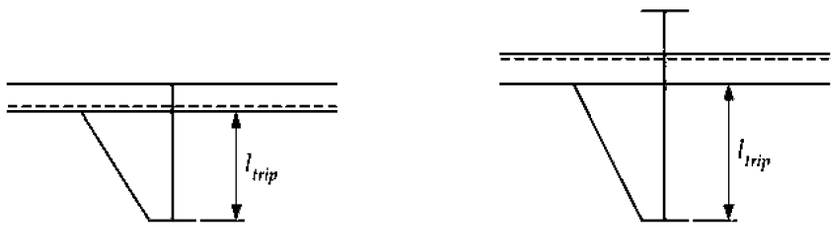


Таблица 8.6.1

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе листового элемента, C_a, для оценки нагрузки от ударов жидкости на листовые элементы

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки должен приниматься как:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}}, \text{ но не более } C_{a\text{-}max},$$

где β_a, α_a, $C_{a\text{-}max}$ коэффициенты допустимого напряжения при изгибе, должны приниматься как:

Совокупность критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**		β_a	α_a	$C_{a\text{-}max}$
АС1	Элементы продольной прочности в районе грузовых танков, включая: – палубу; – продольную переборку; – продольную переборку с горизонтальными гофрами; – продольные балки и стрингеры в районе грузовых танков	Обшивка с продольными ребрами жесткости	0,9	0,5	0,8
		Обшивка с поперечными или вертикальными ребрами жесткости	0,9	1,0	0,8
	Другие элементы продольной прочности, включая: – продольную переборку с вертикальными гофрами; – поперечную переборку; – поперечную гофрированную переборку; – поперечные стрингеры и рамные шпангоуты; – обшивку границ танков и главных несущих элементов вне района грузовых танков		0,8	0	0,8

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного в точке расчета нагрузки, как указано в *разделе 3/5.1.2*

$$= \left(\frac{(z - z_{NA-net50}) M_{sv-perm-sea}}{I_{v-net50}} \right) 10^{-3} \text{ Н/мм}^2;$$

z вертикальная координата рассматриваемой точки расчета нагрузки, м;

$z_{NA-net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м;

$M_{sw-perm-sea}$ допустимый изгибающий момент при прогибе и перегибе эквивалентного бруса для операций при переходе морем в расматриваемом месте, кНм. Должно использоваться наибольшее значение изгибающего момента при прогибе и перегибе, см. *раздел 7/2.1;*

$I_{v-net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.6.2

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе, C_s, для оценки нагрузки от ударов жидкости на ребра жесткости

Коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки должен приниматься как:

$$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{\sigma_{yd}},$$ но не более $C_{s\text{-}max}$,

где β_s, α_s, $C_{s\text{-}max}$ коэффициенты допустимого напряжения при изгибе, должны приниматься как:

Совокупность критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**		β_s	α_s	$C_{s\text{-}max}$
АС1	Элементы продольной прочности в районе грузовых танков, включая: – ребра жесткости палубы; – ребра жесткости на продольных переборках; – ребра жесткости на продольных балках и стрингерах в районе грузовых танков	Продольные ребра жесткости	0,85	1,0	0,75
		Поперечные или вертикальные ребра жесткости	0,7	0	0,7
	Другие элементы прочности, включая: – ребра жесткости на поперечных переборках; – ребра жесткости на поперечных стрингерах и рамных шпангоутах; – ребра жесткости границ танков и главных несущих элементов вне района грузовых танков		0,75	0	0,75

σ_{hg} напряжение при изгибе эквивалентного бруса для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанного в исходной точке, как указано в *разделе 3/5.2.2.5*

$$= \left(\frac{(z - z_{NA\text{-}net50}) M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}}{I_{v\text{-}net50}} \right) 10^{-3} \text{ Н/мм}^2;$$

z вертикальная координата исходной точки, указанной в *разделе 3/5.2.2.5*, м;

$z_{NA\text{-}net50}$ расстояние от линии основания до горизонтальной нейтральной оси, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м;

$M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$ допустимый изгибающий момент при прогибе и перегибе эквивалентного бруса для операций при переходе морем в расматриваемом месте, кНм. Должно использоваться наибольшее значение изгибающего момента при прогибе и перегибе, см. *раздел 7/2.1;*

$I_{v\text{-}net50}$ вертикальный момент инерции нетто эквивалентного бруса корпуса в рассматриваемом продольном положении, как указано в *разделе 4/2.6.1*, м^4;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

Таблица 8.6.3

Коэффициент допустимого напряжения при сдвиге

Совокупность критериев приемлемости	**Конструктивный элемент**	C_t
АС1	Подкрепляющие кницы	0,75

6.3 Днищевой слеминг

6.3.1 Область применения

6.3.1.1 Если минимальные носовые осадки, $T_{FP\text{-}mt}$ или $T_{Fp\text{-}full}$, как указано в *разделе 7/4.3.2.1*, составляют меньше чем $0{,}045L$, носовая часть днища должна иметь дополнительное усиление для обеспечения устойчивости к действию давления днищевого слемминга.

6.3.1.2 Осадки, для которых выполняется усиление днища, следует указать на чертеже растяжки наружной обшивки судна и в руководящей информации по загрузке, см. *1.1*.

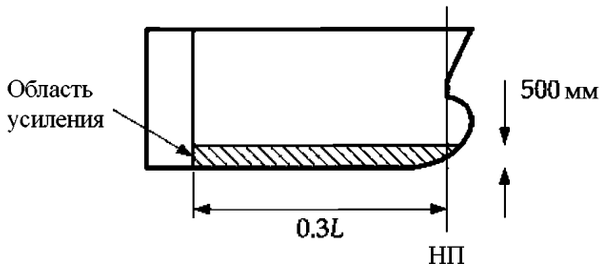
6.3.1.3 Размеры связей корпуса, описанные в *6.3*, являются размерами связей корпуса нетто, которые соотносятся с полными размерами таким образом, как описано в *6.1.1.2*. Момент сопротивления сечения и площадь сдвига главных несущих элементов должны определяться, как указано в *разделе 4/2.5*.

6.3.1.4 Момент сопротивления сечения и толщина стенки элементов основного набора применяются к областям, где отсутствуют концевые бракеты. Площади сдвига поперечного сечения главных несущих элементов должны применяться, как указано в *6.3.7.3* и *6.3.7.4*.

6.3.2 Протяженность усиления

6.3.2.1 Усиление должно распространяться на $0{,}3L$ в нос от носового перпендикуляра через полосы днища и смежной обшивки с прикрепленными к ребрами жесткости до высоты в 500 мм от линии основания, см. *рис. 8.6.4*.

Рис. 8.6.4
Протяженность усиления для обеспечения устойчивости к действию днищевого слеминга



6.3.2.2 За пределами района с усилениями для обеспечения устойчивости к действию днищевого слеминга, размеры связей корпуса следует уменьшить таким образом, чтобы поддерживать непрерывность продольного и /или поперечного усиления.

6.3.3 Конструкции для обеспечения устойчивости к действию нагрузок днищевого слемминга

6.3.3.1 Конструкция концевых соединений ребер жесткости в районе, находящемся под действием днищевого слеминга, должна обеспечивать фиксацию концов или путем обеспечения непрерывности ребер жесткости за счет опор или за счет установки концевых бракет в соответствии с *разделом 4/3.2.3*. Если выполнение этого требования практически невозможно, пластический момент сопротивления сечения нетто, $Z_{pl\text{-}alt\text{-}net}$, для альтернативных устройств для фиксации концов должен быть не менее чем:

$$Z_{pl\text{-}alt\text{-}net} = \frac{16 Z_{pl\text{-}net}}{f_{bdg}} \text{ см}^3,$$

где $Z_{pl\text{-}net}$ пластический момент сопротивления сечения нетто, см^3, как указано в *6.3.5.1*;
f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

$$= 8\left(1 + \frac{n_s}{2}\right);$$

$n_s = 0$ для обоих концов со свободной фиксацией концов (с простой опорой);
$= 1$ для одного конца с жесткой опорой и второго конца с простой опорой.

6.3.3.2 Размеры связей корпуса и конфигурация главных несущих элементов, включая переборки, должны соответствовать *6.3.7*.

6.3.4 Наружная обшивка корпуса

6.3.4.1 Толщина нетто наружной обшивки корпуса, t_{net}, должна быть не менее чем:

$$t_{net} = \frac{0{,}0158\,\alpha_p\, s}{C_d}\sqrt{\frac{P_{slm}}{C_a\,\sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$$= 1{,}2 - \frac{s}{2100\,l_p}, \text{ но не более 1,0;}$$

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*
l_p длина панели, принимаемая как расстояние между главными несущими элементами (см. *раздел 4/2.2.2*) или элементами, разделяющими панель, м;
P_{slm} давление днищевого слемминга, как указано в *разделе 7/4.3*, и рассчитанное в точке приложения нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*, кН/м^2;
C_d поправочный коэффициент несущей способности панели
$= 1{,}3$;
C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе
$= 1{,}0$ для совокупности критериев приемлемости АС3;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.3.5 Ребра жесткости наружной обшивки корпуса

6.3.5.1 Пластический момент сопротивления сечения нетто, $Z_{pl\text{-}net}$, каждого ребра жесткости должен быть не менее чем:

$$Z_{pl\text{-}net} = \frac{P_{slm}\, s\, l_{bdg}^2}{f_{bdg}\, C_s\, \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P_{slm} давление днищевого слемминга, как указано в *разделе 7/4.3,* и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*
l_{bdg} эффективный участок изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.1*, м;
f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

$$= 8\left(1 + \frac{n_s}{2}\right);$$

$n_s = 2{,}0$ для непрерывных ребер жесткости или если ребра жесткости по обоим концам имеют бракеты;
см. *6.3.3.1* для альтернативного расположения;
C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе
$= 0{,}9$ для совокупности критериев приемлемости АС3;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.3.5.2 Толщина стенки, $t_{w\text{-}net}$, каждого элемента продольного набора должна быть не менее чем:

$$t_{w\text{-}net} = \frac{P_{slm}\, s\, l_{shr}}{2\, d_{shr}\, C_t\, \tau_{yd}} \text{ мм},$$

где l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.2*, м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*
P_{slm} давление днищевого слемминга, как указано в *разделе 7/4.3,* и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;
d_{shr} эффективная высота стенки ребра жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.4.2.2;*
C_t коэффициент допустимого касательного напряжения
= 1,0 для совокупности критериев приемлемости АС3;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.3.5.3 Коэффициент гибкости каждого элемента продольного набора должен соответствовать *разделу 10/2.*

6.3.6 Определение идеализированной области приложения нагрузки днищевого слемминга для главных несущих элементов

6.3.6.1 Размеры связей элементов, указанных в *6.3.7,* основываются на приложении давления слеминга, указанного в *разделе 7/4.3,* к идеализированной области наружной обшивки корпуса, при этом область приложения нагрузки слеминга, A_{slm}, определяется по следующей формуле:

$$A_{slm} = \frac{1{,}1 L B C_b}{1000} \text{ м}^2,$$

где L длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*
B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*
C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1.*

6.3.7 Главные несущие элементы

6.3.7.1 Размер и число отверстий в обшивке стенки флоров и балок следует минимизировать с учетом требуемой площади сдвига, как указано в *6.3.7.2.*

6.3.7.2 Площадь сдвига нетто, $A_{w\text{-}net50}$, каждой стенки главного несущего элемента в любом положении вдоль его пролета должна быть не менее чем:

$$A_{w-net50} = 10 \frac{Q_{slm}}{C_t \tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где Q_{slm} наибольшая перерезывающая сила, возникающая под действием слемминга, для рассматриваемого положения, кН, на основании приложения варианта нагрузки, F_{slm}, к наиболее трудному участку, указанному в *6.3.7.3;*
C_t коэффициент допустимого касательного напряжения
= 0,9 для совокупности критериев приемлемости АС3;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

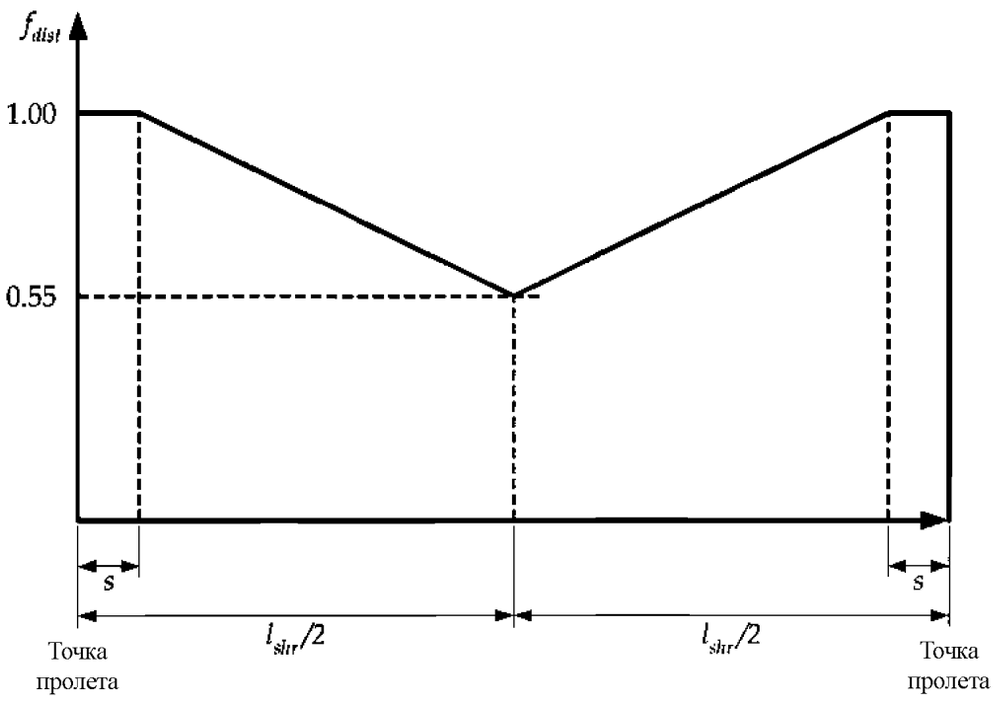
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.3.7.3 Для простых конструкций главных несущих элементов, в отношении которых действием перекрытий можно пренебречь, перерезывающая сила, Q_{slm}, определяется по следующей формуле:

$$Q_{slm} = f_{pt} f_{dist} F_{slm} \text{ кН},$$

где f_{pt} поправочный коэффициент на пропорциональность варианта нагрузки, действующей на отдельный главный несущий элемент
$= 0{,}5\ (f_{slm}^3 - 2f_{slm}^2 + 2)$;
f_{slm} коэффициент изменения варианта нагрузки
$= 0{,}5\ \frac{b_{slm}}{S}$;
f_{dist} коэффициент распределения наибольшей перерезывающей силы вдоль пролета, см. *рис. 8.6.5;*
$F_{slm} = P_{slm} l_{slm} b_{slm}$;
P_{slm} давление днищевого слемминга, как указано в *разделе 7/4.3,* и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.2*, кН/м^2;
l_{slm} протяженность области приложения нагрузки слеминга вдоль пролета
$= \sqrt{A_{slm}}$, м, но не более l_{shr};
l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.5*, м;
b_{slm} ширина области приложения ударной нагрузки, поддерживаемой главным несущим элементом
$= \sqrt{A_{slm}}$, м, но не более S;
A_{slm} как указано в *6.3.6.1;*
S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2.*

Рис. 8.6.5
Распределение f_{dist} вдоль пролета простых конструкций главных несущих элементов



где s расстояние между ребрами жесткости;
l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.5.*

6.3.7.4 Для сложных конструкций главных несущих элементов наибольшая перерезывающая сила, Q_{slm}, в любой точке вдоль пролета каждого главного несущего элемента должна получаться путем прямого расчета, как указано в *табл. 8.6.4.*

Таблица 8.6.4

Методы прямого расчета для получения Q_{slm}

Тип анализа	Теория балок	Перекрытия двойного дна
Протяженность модели	Общий пролет элемента конструкции между эффективными опорами, препятствующими изгибу	Продольная протяженность должна быть равна одной длине грузового танка. Поперечная протяженность должна быть между внутренним наклоном скулы и диаметральной плоскостью
Предполагаемая фиксация концов флоров	Фиксация по концам	Флоры и балки должны быть зафиксированы по границам модели
Примечание 1. Наибольшее значение перерезывающей силы вдоль каждого главного несущего элемента следует получать путем приложения варианта нагрузки к ряду участков по всему пролету, см. *6.3.7.2*.		

6.3.7.5 Толщина стенки, $t_{w\text{-}net}$, главных несущих элементов, смежных с наружной обшивкой, должна быть не менее чем:

$$t_{w-net} = \frac{s}{70}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \text{ мм},$$

где s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2*;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.3.8 Соединение элементов продольного набора с главными несущими элементами

6.3.8.1 Элементы продольного набора, как правило, должны быть непрерывными. Там, где это практически невозможно, следует установить концевые бракеты, соответствующие *4/3.2.3*.

6.3.8.2 Размеры связей элементов в местах расположения концевых соединений каждого элемента продольного набора должны соответствовать требованиям *раздела 4/3.4*.

6.4 Ударные нагрузки на нос судна

6.4.1 Область применения

6.4.1.1 Конструкция борта в районе, находящемся в нос от 0,1L от носового перпендикуляра, должна иметь усиления для обеспечения устойчивости к действию ударных нагрузок на нос судна.

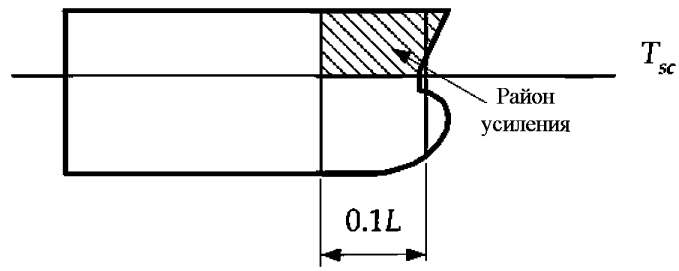
6.4.1.2 Размеры связей корпуса, описанные в *6.4*, представляют собой размеры связей корпуса нетто, которые соотносятся с полными размерами таким образом, как описано в *6.1.1.2*.

6.4.1.3 Момент сопротивления сечения и толщина стенки элементов основного набора применяются к областям, где отсутствуют концевые бракеты. Момент сопротивления сечения главного несущего элемента должен применяться вдоль участка изгиба, где отсутствуют концевые бракеты, а площади поперечного сечения главного несущего элемента должны применяться на концах/опорах и могут постепенно уменьшаться вдоль пролета и не иметь концов/опор, следующих за распределением f_{dist}, как показано на *рис. 8.6.5*.

6.4.2 Протяженность усиления

6.4.2.1 Усиление должно распространяться в нос от 0,1L от носового перпендикуляра и вертикально над теоретической осадкой, T_{sc}, см. *рис. 8.6.6*.

Рис. 8.6.6
Протяженность усиления для обеспечения устойчивости к действию ударной нагрузки на нос судна



6.4.2.2 За пределами района усиления, как указано в *6.4.2.1*, размеры связей корпуса должны постепенно уменьшаться для обеспечения непрерывной продольной и /или поперечной прочности.

6.4.3 Конструкции для обеспечения устойчивости к действию ударных нагрузок на нос судна

6.4.3.1 В районе приложения ударной нагрузки на нос судна элементы набора должны продолжаться как можно дальше, насколько это практически возможно.

6.4.3.2 Конструкция концевых соединений ребер жесткости в районе приложения ударной нагрузки на нос судна должна обеспечивать фиксацию концов или путем обеспечения непрерывности ребер жесткости за счет опор или за счет установки концевых бракет в соответствии с *разделом 4/3.2.3*. Если выполнение этого требования практически невозможно, пластический момент сопротивления сечения нетто, $Z_{pl\text{-}alt\text{-}net}$, для альтернативных устройств для фиксации концов должен быть не менее чем:

$$Z_{pl\text{-}alt\text{-}net} = \frac{16\, Z_{pl\text{-}net}}{f_{bdg}} \text{ см}^3,$$

где $Z_{pl\text{-}net}$ эффективный пластический момент сопротивления сечения нетто, требуемый *6.4.5*, см^3;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

$$= 8\left(1 + \frac{n_s}{2}\right);$$

$n_s = 0$ для обоих концов со свободной фиксацией концов (с простой опорой);

$= 1$ для одного конца и второго конца с простой опорой.

6.4.3.3 Размеры связей корпуса и конфигурация главных несущих элементов, включая палубы переборки, должны соответствовать *6.3.7*. В районах приложения наибольшей ударной нагрузки на нос судна, как правило, следует устанавливать ребра жесткости стенки балки перпендикулярно наружной обшивке корпуса, а также обеспечить наличие двусторонних соединительных зажимов.

6.4.3.4 Главное расположение ребер жесткости палуб и переборок, поддерживающих набор наружной обшивки, должно быть параллельно направлению пролета шпангоутов поддерживаемой наружной обшивки для обеспечения защиты от продольного изгиба.

6.4.4 Наружная бортовая обшивка

6.4.4.1 Толщина нетто наружной бортовой обшивки, t_{net}, должна быть не менее чем:

$$t_{net} = 0{,}0158\, \alpha_p\, s \sqrt{\frac{P_{im}}{C_a\, \sigma_{yd}}} \text{ мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$= 1{,}2 - \dfrac{s}{2100\, l_p}$, но не более 1,0;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_p длина панели, принимаемая как расстояние между главными несущими элементами, см. *раздел 4/2.2.2,* или элементами, разделяющими панель, м;

P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*, кН/м^2;

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе

= 1,0 для совокупности критериев приемлемости АС3;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.5 Ребра жесткости наружной бортовой обшивки

6.4.5.1 Эффективный пластический момент сопротивления сечения нетто, $Z_{pl\text{-}net}$, каждого ребра жесткости вместе с эффективной обшивкой, к которой они прикреплен, должен быть не менее чем:

$$Z_{pl\text{-}net} = \frac{P_{im}\, s\, l_{bdg}^2}{f_{bdg}\, C_s\, \sigma_{yd}} \text{ см}^3,$$

где P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{bdg} эффективный участок изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.1*, м;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

$= 8\left(1 + \dfrac{n_s}{2}\right)$;

n_s = 2,0 для непрерывных ребер жесткости или если ребра жесткости по обоим концам имеют бракеты;
см. *6.3.3.1* для альтернативного расположения;

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе

= 0,9 для совокупности критериев приемлемости АС3;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.5.2 Толщина стенки нетто, $t_{w\text{-}net}$, каждого ребра жесткости должна быть не менее чем:

$$t_{w\text{-}net} = \frac{P_{im}\, s\, l_{shr}}{2\, d_{shr}\, C_t\, \tau_{yd}} \text{ мм},$$

где l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.2*, м;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

d_{shr} эффективная высота стенки ребра жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.4.2.2;*

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения

= 1,0 для совокупности критериев приемлемости АС3;

$\tau_{yd} = \dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.5.3 Коэффициент гибкости каждого элемента продольного набора должен соответствовать *разделу 10/2.*

6.4.5.4 Минимальная толщина нетто листов брештуков/диафрагм жесткости, $t_{w\text{-}net}$, должна быть не менее чем:

$$t_{w\text{-}net} = \frac{s}{70}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}} \text{ мм},$$

где s расстояние между ребрами жесткости на стенке, как указано в *разделе 4/2.2*, мм. Если ребра жесткости не установлены, s следует принимать равной высоте стенки;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.6 Определение идеализированной области приложения ударной нагрузки на нос судна для главных несущих элементов

6.3.6.1 Размеры связей элементов, указанных в *6.4.7*, основываются на приложении ударного давления на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, к идеализированной области наружной обшивки корпуса, при этом область приложения ударной нагрузки на нос судна, A_{slm}, определяется по следующей формуле:

$$A_{slm} = \frac{1{,}1 L B C_b}{1000} \text{ м}^2,$$

где L длина согласно Правилам, как указано в *разделе 4/1.1.1.1;*

B ширина, м, как указано в *разделе 4/1.1.3.1;*

C_b коэффициент общей полноты, как указано в *разделе 4/1.1.9.1*.

6.4.7 Главные несущие элементы

6.4.7.1 Конфигурация главных несущих элементов в районе ударных нагрузок на нос судна должна обеспечивать эффективную непрерывность прочности и отсутствие твердых участков.

6.4.7.2 Чтобы уменьшить отклонения под действием экстремальных ударных нагрузок на нос судна и обеспечить граничные элементы для панелей, расстояние, S, измеренное вдоль пояса обшивки рамных шпангоутов, поддерживающих элементы продольного набора, или ребер жесткости, поддерживающих элементы поперечного набора, должно быть не более чем:

$$S = 3 + 0{,}008 L_2 \text{ м},$$

где L_2 длина согласно Правилам, L, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*, но не более 300 м.

6.4.7.3 Концевые бракеты главных несущих элементов должны иметь вдоль краев надлежащие ребра жесткости. Следует учесть конструкцию нижнего конца бракет для сведения к минимуму резких изменений в поперечном сечении.

6.4.7.4 Подкрепляющие конструкции должны соответствовать требованиям *раздела 10/2.3.3*. В дополнение к этому, подкрепляющие бракеты следует установить на нижних концах бракетов и в местах, где фланцы главных несущих элементов являются наклонными или изогнутыми.

6.4.7.5 Момент сопротивления сечения нетто каждого главного несущего элемента, Z_{net50}, должен быть не менее чем:

$$Z_{net50} = 10 \frac{f_{bdg-pt} P_{im} b_{slm} f_{slm} l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \text{ см}^2,$$

где $f_{bdg\text{-}pt}$ поправочный коэффициент для изгибающего момента на концах, учитывающий вариант нагрузки
$= 3f_{slm}^3 - 8f_{slm}^2 + 6f_{slm}$;

f_{slm} коэффициент изменения варианта нагрузки
$= \dfrac{l_{slm}}{l_{bdg}}$;

l_{slm} протяженность района приложения ударной нагрузки на нос судна вдоль пролета
$= \sqrt{A_{slm}}$, м, но не более l_{bdg};

A_{slm} область ударной нагрузки на нос судна, м^2, как указано в *6.4.6.1;*

l_{bdg} эффективный участок изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.4,* м;

P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.3*, кН/м^2;

b_{slm} ширина района ударной нагрузки на нос судна, поддерживаемой главным несущим элементом, которую следует принимать как расстояние между главными несущими элементами, как указано в *разделе 4/2.2.2*, но не более, чем l_{slm}, м;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента
= 12 для главных несущих элементов с непрерывными свободными поясками с закрепленными концами, ребрами жесткости, или имеющих ребра жесткости с бракетами на обоих концах, как указано в *разделе 4/3.3;*

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе
= 0,8 для совокупности критериев приемлемости АС3;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.7.6 Площадь нетто стенки, $A_{w\text{-}net50}$, каждого главного несущего элемента у опоры/нижнего конца концевых бракет должна быть не менее чем:

$$A_{w-net50} = \frac{5 f_{pt} P_{im} b_{slm} l_{shr}}{C_t \tau_{yd}} \text{ см}^2,$$

где f_{pt} коэффициент изменения варианта нагрузки
$= \dfrac{l_{slm}}{l_{shr}}$;

l_{slm} протяженность района приложения ударной нагрузки на нос судна вдоль пролета
$= \sqrt{A_{slm}}$, м, но не более l_{shr};

l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.2*, м;

P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.2*, кН/м^2;

b_{slm} ширина района ударной нагрузки на нос судна, поддерживаемой главным несущим элементом, которую следует принимать как расстояние между главными несущими элементами, как указано в *разделе 4/2.2.2*, но не более, чем l_{slm}, м;

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения
= 0,75 для совокупности критериев приемлемости АС3;

$\tau_{yd} = \dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$ Н/мм^2;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

6.4.7.7 Толщина нетто стенки каждого главного несущего элемента, $t_{w\text{-}net}$, включая палубу/переборки в районе расположения наружной бортовой обшивки должна быть не менее чем:

$$t_{w-net} = \frac{P_{im} b_{slm}}{\sin \varphi_w \sigma_{crb}} \text{ мм},$$

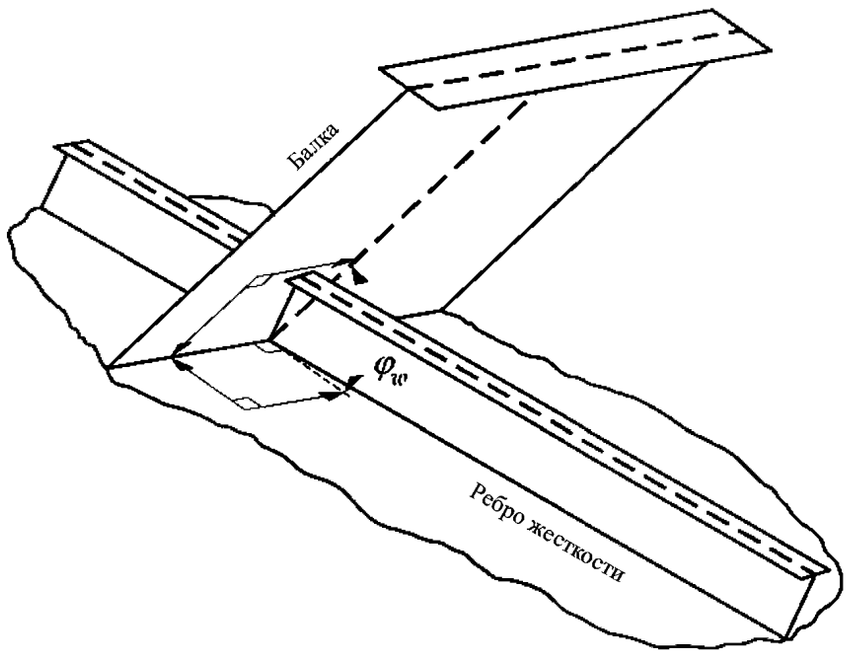
где P_{im} ударное давление на нос судна, как указано в *разделе 7/4.4*, и рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.2*, кН/м^2 или на пересечении наружной бортовой обшивки с палубой/переборкой, кН/м^2;

b_{slm} ширина района ударной нагрузки на нос судна, поддерживаемой главным несущим элементом, которую следует принимать как расстояние между главными несущими элементами, как указано в *разделе 4/2.2.2*, но не более, чем l_{slm}, м;

φ_w угол, в град., между стенкой балки главного несущего элемента и листом наружной обшивки, см. *рис. 8.6.7;*

σ_{crb} критическое напряжение при продольном изгибе при сжатии стенки балки главного несущего элемента или панели палубы/переборки в районе приложения нагрузки, как указано в *разделе 10/3.2.1*, Н/мм^2.

Рис. 8.6.7
Угол между главным несущим элементом наружной обшивки и листом наружной обшивки



6.4.8 Соединение ребер жесткости с главными несущими элементами

6.4.8.1 Ребра жесткости, как правило, должны быть непрерывными. Если это практически невозможно, следует использовать концевые бракеты, соответствующие *разделу 4/3.2.3*.

6.4.8.2 Размеры связей концевых соединений каждого ребра жесткости должны соответствовать *разделу 4/3.4*.

7 Применение требований к размерам связей к прочим конструкциям

7.1 Общие положения

7.1.1 Область применения

7.1.1.1 Требования данного Подраздела применяются к элементам основного набора и главным несущим элементам, к которым неприменимы основные конфигурации конструкции или модели прочности, принятые в *разделах 8/2 – 8/5*. Они представляют собой требования общей прочности в отношении различных допустимых вариантов нагрузки и условий поддержания концевых конструкций. Данные требования не могут использоваться в качестве альтернативы требованиям *разделов 8/2 – 8/5* в тех случаях, когда эти разделы могут быть применимы.

7.1.1.2 Размеры связей корпуса нетто, описанные в данном Подразделе, соотносятся с полными размерами следующим образом:

а) для обшивки и элементов основного набора полная толщина и свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3;*
б) для главных несущих элементов полная площадь сдвига, полный момент сопротивления сечения и прочие свойства полного поперечного сечения получаются, исходя из применимых требований путем прибавления половины полной прибавки на коррозию, указанную в *разделе 6/3*.

7.1.1.3 Данные требования должны применяться совместно со всеми надлежащими требованиями, указанными в *разделах 8, 9* и *10*, к конкретному рассматриваемому конструктивному элементу, включая продольную прочность, минимальную толщину, пропорции и устойчивость конструкции, оценку прочности (методом конечных элементов), усталостную прочность и предельную прочность эквивалентного бруса.

7.1.1.4 Требования к элементам основного набора и главным несущим элементам являются предметом специального рассмотрения в случае, если конструктивный элемент:

а) представляет собой часть конструкции перекрытия;
б) подвергается значительному относительному отклонению между концевыми опорами;
в) если модель нагрузки или условие поддержания концевых конструкций не приведены в *табл. 8.7.1.*

7.1.1.5 Применение альтернативных или более совершенных методов расчета должно быть предметом специального рассмотрения.

7.2 Требования к размерам связей корпуса

7.2.1 Общие положения

7.2.1.1 Варианты расчетной нагрузки, которые следует применить в отношении требований к конструкции элементов основного набора и главных несущих элементов, указаны в *табл. 8.7.2*, в зависимости от того, что применимо к конкретной рассматриваемой конструкции. Статические и динамические составляющие нагрузки должны сочетаться в соответствии с *табл. 7.6.1* и требованиями, указанными в *разделе 7/6.3*.

7.2.2 Обшивка и элементы основного набора

7.2.2.1 Для обшивки, находящейся под действием бокового давления, толщина нетто, t_{net}, должна приниматься равной наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, указанных в *табл. 8.7.2*, и рассчитываться по следующей формуле:

$$t_{net} = 0{,}0158\, a_p\, s \sqrt{\frac{|P_{shl}|}{C_a \sigma_{yd}}} \quad \text{мм},$$

где α_p поправочный коэффициент для коэффициента пропорциональности панели

$$= 1{,}2 - \frac{s}{2100\, l_p};$$

P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.1.2*, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_p длина панели, принимаемая как расстояние между главными несущими элементами, S, кроме случаев, когда установлены карлингсы, м;

C_a коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.4, 8.3.2* или *8.4.2*, как применимо для отдельного рассматриваемого конструктивного элемента;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

7.2.2.2 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, сосредоточенных нагрузок или их сочетаний, требуемый момент сопротивления сечения нетто, Z_{net}, должен приниматься равным наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, указанных в *табл. 8.7.2*, и рассчитываться по следующей формуле:

$$Z_{net} = \frac{|P|\, s\, l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \quad \text{см}^3, \quad \text{для бокового давления;}$$

$$Z_{net} = \frac{1000\,|F|\,l_{bdg}}{f_{bdg}\,C_s\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для сосредоточенных нагрузок;}$$

$$Z_{net} = \frac{\left|\sum \frac{P_i\,s\,l_{bdg}^2}{f_{bdg-i}} + \sum \frac{1000\,F_j\,l_{bdg}}{f_{bdg-j}}\right|}{C_s\,\sigma_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для сочетания нагрузок,}$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{bdg} эффективный участок изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.1*;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента

для непрерывных стрингеров и в тех местах, где концевые соединения установлены совместно с идеализацией ребра жесткости, как имеющего закрепленные концы:

= 12 для горизонтальных ребер жесткости;

= 10 для вертикальных ребер жесткости;

для прочих конфигураций коэффициент изгибающего момента может приниматься, как указано в *табл. 8.7.1;*

C_s коэффициент допустимого напряжения при изгибе для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.5, 8.3.3* или *8.4.3*, как применимо для отдельного рассматриваемого конструктивного элемента;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

F сосредоточенная нагрузка для рассматриваемого набора расчетной нагрузки, кН;

i индексы для составляющей нагрузки i;

j индексы для составляющей нагрузки j.

7.2.2.3 Для ребер жесткости, находящихся под действием бокового давления, сосредоточенной нагрузки или их сочетания, толщина стенки нетто, $t_{w\text{-}net}$, основанная на требованиях к площади сдвига, должна приниматься равной наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, указанных в *табл. 8.7.2*, и рассчитываться по следующей формуле:

$$t_{w-net} = \frac{f_{shr}\,|P|\,s\,l_{shr}}{f_{shr}\,C_t\,\tau_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для бокового давления;}$$

$$t_{w-net} = \frac{1000\,f_{shr}\,|F|}{d_{shr}\,C_t\,\tau_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для сосредоточенных нагрузок;}$$

$$t_{w-net} = \frac{|\sum f_{shr-i}\,P_i\,s\,l_{shr} + \sum 1000\,f_{shr-j}\,F_j|}{d_{shr}\,C_t\,\tau_{yd}} \text{ мм}^3, \qquad \text{для сочетания нагрузок,}$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.2.2*, кН/м^2;

f_{shr} коэффициент перерезывающей силы

для непрерывных стрингеров и в тех местах, где концевые соединения установлены совместно с идеализацией ребра жесткости, как имеющего закрепленные концы:

= 0,5 для горизонтальных ребер жесткости;

= 0,7 для вертикальных ребер жесткости;

для прочих конфигураций коэффициент изгибающего момента может приниматься, как указано в *табл. 8.7.1;*

s расстояние между ребрами жесткости, мм, как указано в *разделе 4/2.2;*

l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.2*;

d_{shr} как указано в *разделе 4/2.4.2.2*;

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.6* или *8.3.4*, как применимо для отдельного рассматриваемого конструктивного элемента;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

F сосредоточенная нагрузка для рассматриваемого набора расчетной нагрузки, кН;

i индексы для составляющей нагрузки i;

j индексы для составляющей нагрузки j.

7.2.3 Главные несущие элементы

7.2.3.1 Требования *7.2.3* применимы в тех случаях, когда главный несущий элемент идеализирован как простая балка. Чтобы гарантировать, что уровни номинального напряжения для всех главных несущих элементов меньше, чем допустимые напряжения и коэффициенты напряжения, указанные в *7.2.3.4* и *7.2.3.5* при приложении к ним применимых вариантов расчетной нагрузки, могут потребоваться более совершенные методы расчетов. См. также *7.1.1.4*.

7.2.3.2 Момент сопротивления сечения нетто и толщина стенки элементов основного набора применяются к тем местам, где отсутствуют концевые бракеты. Момент сопротивления сечения и площади сдвига поперечного сечения главного несущего элемента должны применяться, как требуется в примечаниях к *табл. 8.7.1*.

7.2.3.3 Для главных несущих элементов, пересекающихся или находящихся в местах криволинейных сечений корпуса, эффективность концевых бракет должна включать припуск на криволинейность корпуса.

7.2.3.4 Для главных несущих элементов требуемый момент сопротивления сечения нетто, Z_{net50}, должен приниматься равным наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, указанных в *табл. 8.7.2*, и рассчитываться по следующей формуле:

$$Z_{net50} = \frac{1000\,|P|\,S l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для бокового давления;}$$

$$Z_{net50} = \frac{1000\,|F|\,l_{bdg}}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для сосредоточенных нагрузок;}$$

$$Z_{net50} = \frac{\left|\sum \frac{1000 P_i S l_{bdg}^2}{f_{bdg-i}} + \sum \frac{1000 F_j l_{bdg}}{f_{bdg-j}}\right|}{C_s \sigma_{yd}} \text{ см}^3, \qquad \text{для сочетания нагрузок,}$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.3*, кН/м^2;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{bdg} эффективный участок изгиба, как указано в *разделе 4/2.1.4*;

f_{bdg} коэффициент изгибающего момента, как указано в *табл. 8.7.1;*

C_s коэффициент допустимого изгибающего напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.10* или *8.3.6*, как применимо для отдельного рассматриваемого конструктивного элемента;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

F сосредоточенная нагрузка для рассматриваемого набора расчетной нагрузки, кН;

i индексы для составляющей нагрузки i;

j индексы для составляющей нагрузки j.

7.2.3.5 Для главных несущих элементов площадь сдвига нетто стенки, $A_{w\text{-}net50}$, должна приниматься равной наибольшему значению для всех применимых вариантов расчетной нагрузки, указанных в *табл. 8.7.2,* и рассчитываться по следующей формуле:

$$A_{w-net50} = \frac{10 f_{shr} |P| S l_{shr}}{C_t \tau_{yd}} \text{ см}^2, \qquad \text{для бокового давления;}$$

$$A_{w-net50} = \frac{10 f_{shr} |F|}{C_t \tau_{yd}} \text{ см}^2, \qquad \text{для сосредоточенных нагрузок;}$$

$$A_{w-net50} = \frac{|\sum 10 f_{shr-i} P_i l_{shr} + \sum 10 f_{shr-j} F_j|}{C_t \tau_{yd}} \text{ см}^2, \qquad \text{для сочетания нагрузок,}$$

где P расчетное давление для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, рассчитанное в точке расчета нагрузки, указанной в *разделе 3/5.3.2*, кН/м^2;

S расстояние между главными несущими элементами, м, как указано в *разделе 4/2.2.2;*

l_{shr} эффективный участок сдвига, как указано в *разделе 4/2.1.5*;

f_{shr} коэффициент перерезывающей силы, как указано в *табл. 8.7.1;*

C_t коэффициент допустимого касательного напряжения для рассматриваемого варианта расчетной нагрузки, как указано в *табл. 8.2.10* или *8.3.7*, как применимо для отдельного рассматриваемого конструктивного элемента;

$$\tau_{yd} = \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}} \text{ Н/мм}^2;$$

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

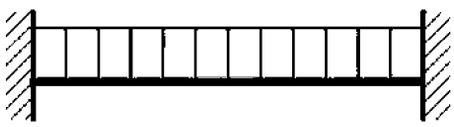
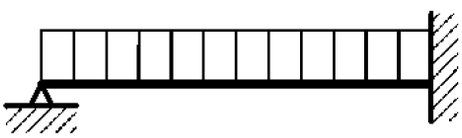
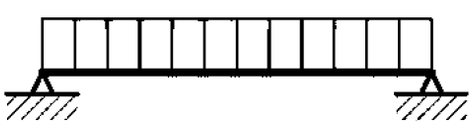
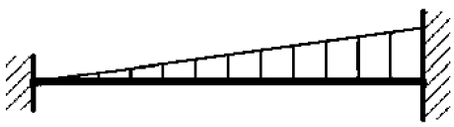
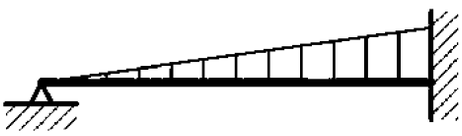
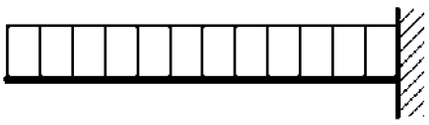
F сосредоточенная нагрузка для рассматриваемого набора расчетной нагрузки, кН;

i индексы для составляющей нагрузки i;

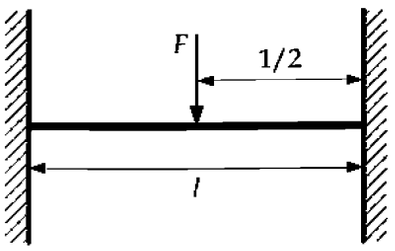
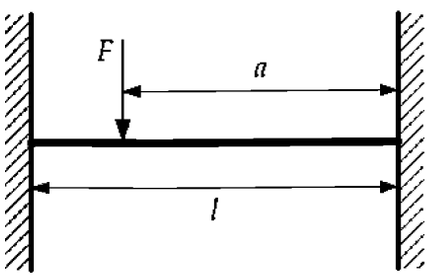
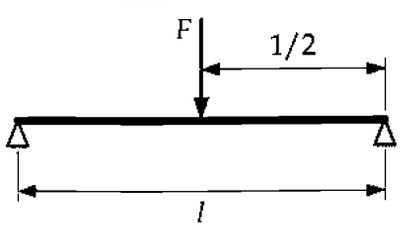
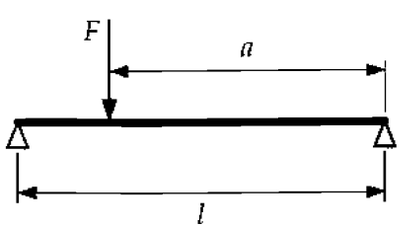
j индексы для составляющей нагрузки j.

Таблица 8.7.1

Значения f_{bdg} и f_{shr}

Условия нагрузки и границ				**Изгибающий момент и коэффициент перерезывающей силы (на основании нагрузки посередине участка при изменяющейся нагрузке)**			**Применение**
Положение(1)				1	2	3	
Модель нагрузки	1 Опора	2 Поле	3 Опора	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} –	f_{bdg3} f_{shr3}	
A				12,0 0,50	24,0 –	12,0 0,50	Элемент, встроенный с обоих концов. Равномерное распределение давления
B				– 0,38	14,2 –	8,0 0,63	Элемент, встроенный с одного конца, плюс один конец имеет простую опору. Равномерное распределение давления
C				– 0,50	8,0 –	– 0,50	Элемент с простой опорой (оба конца могут свободно вращаться). Равномерное распределение давления
D				15,0 0,30	23,3 –	10,0 0,70	Элемент, встроенный с обоих концов. Линейно изменяющееся распределение давления
E				– 0,20	16,8 –	7,5 0,80	Элемент, встроенный с одного конца, плюс один конец имеет простую опору. Линейно изменяющееся распределение давления
F				– –	– –	2,0 1,0	Консольный бимс. Равномерное распределение давления

Продолжение табл. 8.7.1

Условия нагрузки и границ				**Изгибающий момент и коэффициент перерезывающей силы (на основании нагрузки посередине участка при изменяющейся нагрузке)**			**Применение**
Положение[1]				1	2	3	
Модель нагрузки	1 Опора	2 Поле	3 Опора	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} –	f_{bdg3} f_{shr3}	
G				8,0 0,5	8,0 –	8,0 0,5	Элемент, встроенный с обоих концов. Сосредоточенная нагрузка в центре длины пролета
H				$\frac{l^3}{a^2(l-a)}$ $\frac{a^2(3l-2a)}{l^3}$	$\frac{l^4}{2a^2(l-a)^2}$ –	$\frac{l^3}{a(l-a)^2}$ $\frac{(l-a)^2(l+2a)}{l^3}$	Элемент, встроенный с обоих концов. Сосредоточенная нагрузка, нагрузка, приложенная в любой части длины пролета
I				– 0,5	4 –	– 0,5	Элемент с простой опорой. Сосредоточенная нагрузка в центре длины пролета
J				– $\frac{a}{l}$	$\frac{l^2}{a(l-a)}$ –	– $\frac{l-a}{l}$	Элемент с простой опорой

Примечания:

1. Коэффициент изгибающего момента f_{bdg} для поддерживаемых положений применим на расстоянии $0{,}2l_{bdg}$ от конца эффективной длины изгиба как для элементов основного набора, так и для главных несущих элементов.

2. Коэффициент перерезывающей силы f_{shr} для поддерживаемых положений применим на расстоянии $0{,}2l_{shr}$ от конца эффективной длины сдвига как для элементов основного набора, так и для главных несущих элементов.

3. Применение f_{bdg} и f_{shr} для элементов основного набора:

а) требование к моменту сопротивления сечения элементов основного набора следует определять, используя наименьшее значение из f_{bdg1}, f_{bdg2} и f_{bdg3};

б) требование к площади сдвига элементов основного набора следует определять, используя наибольшее значение из f_{shr1} и f_{shr3}.

4. Применение f_{bdg} и f_{shr} для главных несущих элементов:

а) требование к моменту сопротивления сечения в пределах $0{,}2l_{bdg}$ от конца эффективной длины изгиба, как правило, следует определять, используя применимые значения f_{bdg1} и f_{bdg3}, однако значение f_{bdg} должно быть не более 12;

б) момент сопротивления сечения половины длины следует определять, исходя из $f_{bdg} = 24$, или взять f_{bdg2} из таблицы, если его значение меньше;

в) требование к площади сдвига концевых соединений в пределах $0{,}2l_{shr}$ от конца эффективной длины следует определять, исходя из $f_{shr} = 0{,}5$ или применимого значения f_{shr1} или f_{shr3}, в зависимости от того, что больше;

г) для моделей A – F значение f_{shr} может постепенно уменьшаться за пределами $0{,}2l_{shr}$ до $0{,}5f_{shr}$ на половине длины, где f_{shr} – больше значение из f_{shr1} и f_{shr3}.

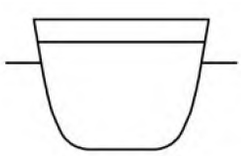
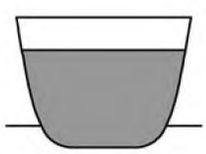
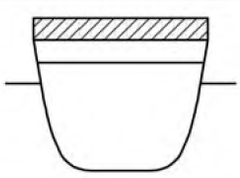
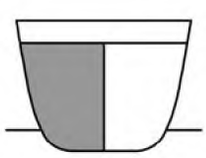
где l эффективная длина пролета, l_{bdg} или l_{shr} соответственно;

l_{bdg} как указано в *разделе 4/2.1.1* для элементов основного набора и в *разделе 4/2.1.4* для главных несущих элементов;

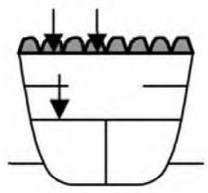
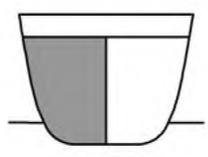
l_{shr} как указано в *разделе 4/2.1.2* для элементов основного набора и в *разделе 4/2.1.5* для главных несущих элементов.

Таблица 8.7.2

Варианты расчетной нагрузки для обшивки, элементов основного набора и главных несущих элементов

Тип местного подкрепления и главного несущего элемента	Вариант расчетной нагрузки[1]	Составляющая нагрузки	Внешняя осадка	Примечание	Графическое представление
Наружная обшивка	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление забортной воды	
	2	P_{ex}	T_{sc}		
	5	P_{in}	T_{bal}	Только давление танка. Давление забортной воды не учитывается	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
Внешние палубы	1	P_{ex}	T_{sc}	Только давление при заливании палубы	
Палубы, образующие границы танка, и/или водонепроницаемые переборки	5	P_{in}	T_{bal}	Давление только с одной стороны. Полный танк со смежным пустым танком	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
	11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

Продолжение табл. 8.7.2

Тип местного подкрепления и главного несущего элемента	**Вариант расчетной нагрузки(1)**	**Составляющая нагрузки**	**Внешняя осадка**	**Примечание**	**Графическое представление**
Внутренние и внешние палубы или полосы	9	P_{dk}	T_{bal}	Только распределенные или концентрированные нагрузки. Смежные танки пустые. Давление при заливании палубы может не учитываться	
	10	P_{dk}	T_{bal}		
Другие границы танка или водонепроницаемые переборки	5	P_{in}	T_{bal}	Давление только с одной стороны. Полный танк со смежным пустым танком	
	6	P_{in}	$0{,}25\,T_{sc}$		
	11	$P_{in\text{–}flood}$	–		

где T_{sc} максимальная расчетная осадка, как указано в *разделе 4/1.1.5.5;*
T_{bal} минимальная расчетная осадка в балласте, м, как указано в *разделе 4/1.1.5.2.*

Примечания:

1. Технические характеристики сочетаний расчетных нагрузок и другие параметры нагрузок для вариантов расчетной нагрузки приведены в *табл. 8.2.8.*

2. Если конфигурация судна не может быть описана вышеприведенными параметрами, следует выбрать применимые варианты расчетной нагрузки для определения требований к размерам связей границ конструкции таким образом, чтобы определить полный танк с одной стороны с пустым смежным танком или пространством. Границу следует оценить применительно к нагрузкам с обеих сторон. Варианты расчетной нагрузки следует выбирать, исходя из содержимого танка или пространства, чтобы максимизировать давление на границу конструкции; используемую осадку следует принимать в соответствии с вариантом расчетной нагрузки и данной Таблицей. Следует выбрать варианты расчетной нагрузки, включающие сочетания расчетных нагрузок *S* и *S* + *D*. См. примечание 4 к *табл. 8.2.7* и *табл. 8.2.8.*

3. Границы пустых и сухих пространств, не представляющих собой часть наружной обшивки корпуса, следует оценивать, используя вариант расчетной нагрузки 11. См. примечание 2.

РАЗДЕЛ 9. ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ КОНСТРУКЦИИ

1 Предельная прочность эквивалентного бруса

1.1 Общие положения

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе в условиях прогиба должен оцениваться и проверяться, чтобы убедиться, что он удовлетворяет следующим критериям. Критерии применимы к конструкциям неповрежденного судна в экстремальных условиях плавания. Они относятся к перегибам корпуса судна, при повреждениях при стоянке судна в порту или при аварийном состоянии судна.

1.1.1.2 Требования к размерам связей в данном подразделе должны применяться в пределах $0{,}4L$ миделя судна, и они являются дополнительными ко всем другим требованиям в данных правилах

1.1.1.3 За пределами $0{,}4L$ участка миделя судна листы и ребра жесткости могут постепенно уменьшаться на концах в соответствии с местными требованиями.

1.2 Критерии согласно Правилам

1.2.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб в вертикальной плоскости

1.2.1.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб в вертикальной плоскости должен удовлетворять следующим критериям:

$$\gamma_S M_{sw} + \gamma_W M_{wv\text{-}sag} \le \frac{M_U}{\gamma_R},$$

где M_{sw} изгибающий момент при прогибе на тихой воде, в кНм, принимается, как указано в *табл. 9.1.1*;

$M_{wv\text{-}sag}$ волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости при прогибе, как определено в *разделе 7/3.4.1.1*;

M_U запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб при прогибе, в вертикальной плоскости на тихой воде, в кНм, как определено в *приложении А/1.1.1*;

γ_S, γ_W, γ_R коэффициенты безопасности для комбинации расчетных нагрузок, приведенных в *1.4.*

1.3 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб

1.3.1 Расчет запаса предельной прочности

1.3.1.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на изгиб, M_U, при прогибе должен рассчитываться в соответствии с *приложением А/1.1.1.*

1.3.1.2 Эффективная площадь для оценки потенциального предела прочности эквивалентного бруса указана в *разделе 8/1.2.1.*

1.3.1.3 Запас прочности должен основываться на нетто размерах с использованием надбавки на коррозию $0{,}5t_{corr}$, см. *раздел 6/3.2.*

1.4 Коэффициенты безопасности

1.4.1 Общие положения

1.4.1.1 Коэффициенты прочности, приведенные в *табл. 9.1.1*, применяются, когда M_U рассчитывается с помощью пошагового метода, приведенного в *приложении А/2.1*, или инкрементного метода, приведенного в *А/2.2*. Коэффициенты прочности приводятся для двух различных комбинаций расчетных нагрузок, и обе комбинации должны быть удовлетворены. Следует обратить внимание, что M_{sw} различно для каждой комбинации.

Таблица 9.1.1

Коэффициенты прочности

Комбинация расчетных нагрузок	Определение изгибающего момента на тихой воде, M_{sw}	γ_S	γ_W	γ_R
а)	Допустимый изгибающий момент при прогибе, $M_{sw\text{-}perm\text{-}sea}$, кНм, см. *раздел 7/2.1.1*	1,0	1,2	1,1
б)	Максимальный изгибающий момент на тихой воде для однородной полной нагрузки, $M_{sw\text{-}full}$ кНм, см. примечание 1	1,0	1,3	1,1

где γ_S коэффициент прочности для изгибающего момента на тихой воде при прогибе;
γ_W коэффициент прочности для волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости при прогибе, учитывающий неопределенности, связанные с окружающей средой и предсказанием волновой нагрузки;
γ_R коэффициент прочности для предела прочности на изгиб эквивалентного бруса в вертикальной плоскости при прогибе, учитывающий материал, геометрические неопределенности, неопределенности, связанные с предсказанием прочности.

Примечание

1. Максимальный изгибающий момент на тихой воде при прогибе должен определяться с момента отхода, прибытия или в любом положении во время рейса, когда судно нагружено однородным грузом при максимальной осадке при отходе.

2 Оценка прочности (методом конечных элементов)

2.1 Общие положения

2.1.1 Область применения

2.1.1.1 Оценка прочности конструкции корпуса с использованием метода конечных элементов обязательна.

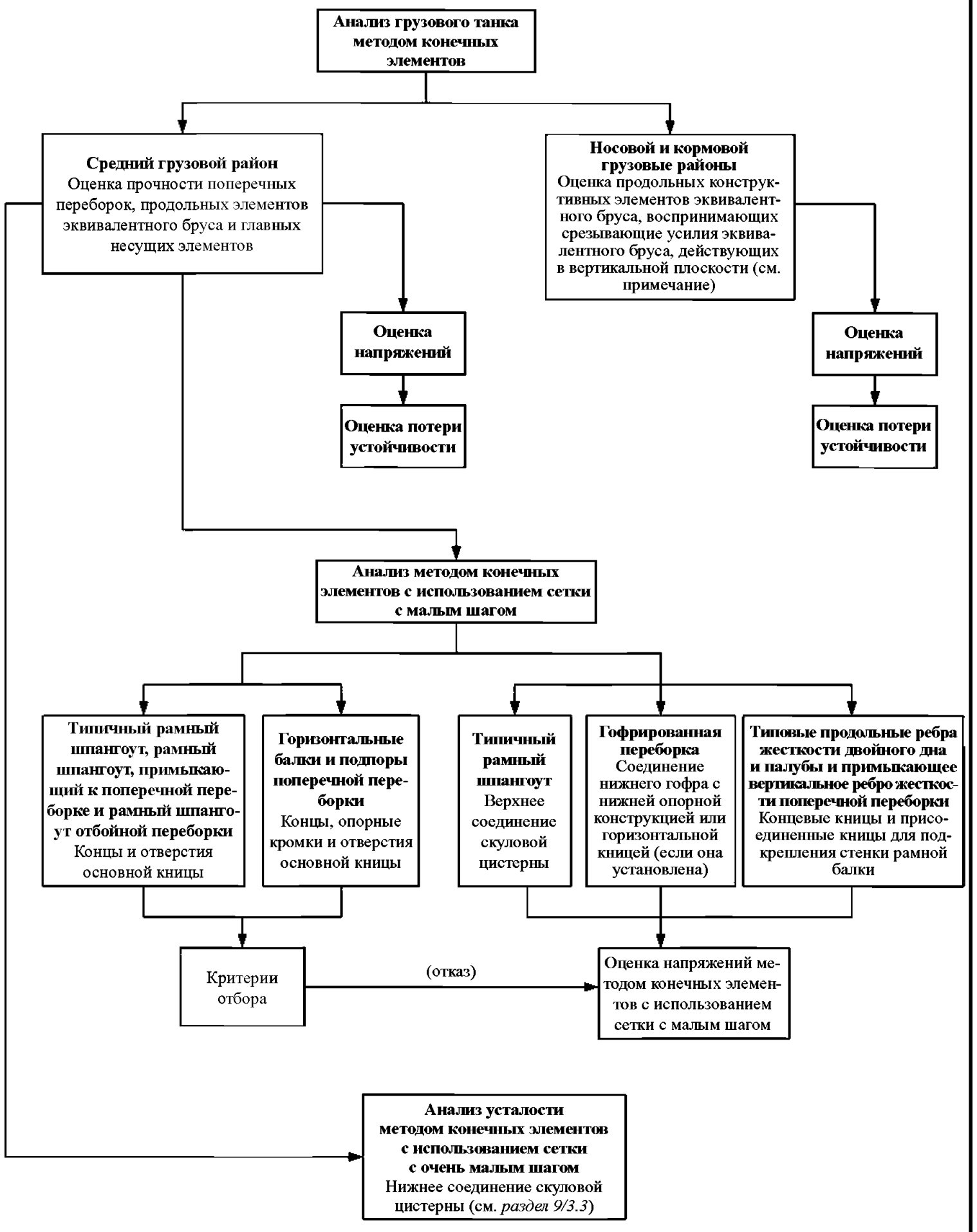
2.1.1.2 Анализ методом конечных элементов состоит из двух частей:

а) анализ грузовых танков для оценки прочности продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, основных поддерживающих конструкций и поперечных переборок;
б) анализ с использованием сетки с малым шагом для оценки детальных уровней напряжений в местных деталях конструкции.

2.1.1.3 Структурная схема, показывающая минимальные требования к анализу методом конечных элементов, изображена на *рис. 9.2.1.*

2.1.1.4 Оценка конструкции должна производиться в соответствии с требованиями, приведенными в *приложении В*. Оценка конструкции должна установить, что критерии приемки, указанные в *2.2.5* и *2.3.5*, соблюдаются.

Рис. 9.2.1
Минимальные требования правил к анализу методом конечных элементов



Примечание

1. Оценка прочности продольных срезывающих конструктивных элементов эквивалентного бруса, как определено в *2.2.1.1* и *разделе 4/табл. 4.1.1*, под действием срезывающих нагрузок эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, в районе поперечных переборок может основываться на конечноэлементной модели миделя танка при модификации свойств листа и ребра жесткости, где это уместно, см. *приложение B/1.1.1* и *приложение B/2.2.1*.

2.1.1.5 Применение размеров связей корпуса судна, проверенных с помощью оценки конструкции в районе зоны грузовых танков, должно соответствовать *2.4*.

2.1.2 Представление результатов

2.1.2.1 Для демонстрации соответствия указанным критериям проекта конструкции должен быть представлен подробный отчет анализа конструкции. Данный отчет должен включать следующую информацию:

а) перечень использованных чертежей, включая даты и варианты;
б) подробное описание построения модели конструкции, включая все допущения при моделировании и любые отклонения от геометрии и расположения конструкции по сравнению с чертежами;
в) схемы для демонстрации правильного построения модели конструкции и назначенных свойств;
г) сведения о свойствах материала, толщине листов, свойствах балок, использованных в модели;
д) сведения о граничных условиях;
е) сведения о случаях нагрузки, рассмотренных вместе с распределением рассчитанных срезывающих силах и изгибающих моментов эквивалентного бруса;
ж) сведения о приложенных нагрузках и подтверждение, что отдельные и общие приложенные нагрузки являются правильными;
з) графики и результаты, которые демонстрируют правильное поведение модели конструкции под приложенными нагрузками;
и) итоги и графики общих и местных деформаций;
к) итоги и надлежащие графики напряжений для демонстрации, что расчетные критерии не превышены в любом элементе;
л) анализ и результаты потери устойчивости листов и подкрепленных панелей;
м) сведенные в таблицу результаты, показывающие соответствие или несоответствие расчетным критериям;
н) предлагаемые поправки к конструкции там, где это необходимо, включая пересмотренную оценку напряжений, характеристик потери устойчивости и усталости, показывающих соответствие расчетным критериям.

2.1.3 Компьютерные программы

2.1.3.1 Как правило, программа расчета с помощью метода конечных элементов, признанная классификационным обществом, может использоваться для определения напряжения и деформации конструкции корпуса при условии, что учитывается объединенное влияние изгибных, срезывающих, осевых и крутильных деформаций.

2.1.3.2 Компьютерная программа, используемая для оценки устойчивости панели при продольном изгибе, должна учитывать объединенное взаимодействие двухосных сжимающих напряжений, срезывающих напряжений и нагрузки от бокового давления в соответствии с требованиями *раздела 10/4*.

2.1.3.3 Компьютерная программа, которая продемонстрировала свою возможность давать надежные результаты, соответствующие требованиям классификационного общества, считается признанной программой. Если используемые компьютерные программы не поставляются или не признаны классификационным обществом, полные сведения о компьютерной программе, включая результаты расчета, должны быть представлены для одобрения. Рекомендуется, чтобы проектировщики проконсультировались у классификационного общества о пригодности компьютерных программ, предназначенных для использования до начала любых аналитических работ.

2.2 Анализ прочности конструкции грузового танка

2.2.1 Цель и область применения

2.2.1.1 Анализ должен охватывать, по меньшей мере, оценку:

а) продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, основных опорных конструкций и поперечных переборок в средней грузовой зоне, и

б) продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, воспринимающих срезывающие усилия, в районе поперечных переборок, под действием срезывающих нагрузок эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, в пределах грузовой зоны. Эти конструктивные элементы включают бортовую обшивку, продольные переборки внутреннего корпуса, включая верхний наклонный лист, если он установлен, скуловую цистерну, продольные переборки и продольные стрингеры двойного дна, как определено в *разделе 4/табл. 4.1.1*. Требуемое подкрепление в районе поперечных переборок с учетом срезывающих нагрузок эквивалентного бруса в носовой, средней или кормовой грузовой зоне может основываться на максимальной срезывающей нагрузке эквивалентного бруса в рассматриваемой зоне. С другой стороны, оценка может быть проведена для определения требования к подкреплению в районе индивидуальной поперечной переборки. Соответствующие сведения приведены в *приложении В/1.1.1*.

2.2.1.2 Требуемое подкрепление в районе поперечных переборок с учетом срезывающих нагрузок эквивалентного бруса в носовой, средней или кормовой грузовой зоны может основываться на максимальной срезывающей нагрузке эквивалентного бруса в рассматриваемой зоне. С другой стороны, оценка может быть выполнена для определения требования к подкреплению в районе индивидуальной поперечной переборки. Соответствующие сведения приведены в *приложении В/1.1.1*.

2.2.1.3 Анализ должен быть проведен, чтобы убедиться, что нижеследующие характеристики находятся в пределах критериев приемлемости при воздействии приложенных статических и динамических нагрузок:

а) уровень напряжений в листах продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, главных несущих элементов и поперечных переборок, своободных поясках главных несущих элементов, моделированных листовыми или стержневыми элементами;

б) устойчивость листов и подкрепленных панелей при продольном изгибе.

2.2.2 Построение модели для исследования

2.2.2.1 Размеры для построения конечноэлементной модели грузового танка должны основываться на нетто размерах, как описано в *разделе 6/3.3.6.1* и *приложении В/2.2.1.5*.

2.2.2.2 Длина конечноэлементной модели грузового танка должна охватывать длины трех танков. Если танки, расположенные в средней грузовой зоне, имеют различную длину, средний танк конечноэлементной модели должен представлять танк самой большой длины. Все основные продольные и поперечные конструктивные элементы должны быть представлены в конечноэлементной модели. Они включают внутреннюю и наружную обшивку, флор и систему балок двойного дна, поперечные и вертикальные стенки, стрингеры, конструкции поперечных и продольных переборок. Вся обшивка и ребра жесткости, включая ребра жесткости стенок балок на этих конструктивных элементах должны быть моделированы.

2.2.2.3 Размер ячеек конечноэлементной модели должен соответствовать системе подкрепления конструкции, насколько это практически возможно, и должен представлять фактические плоские панели между ребрами жесткости.

2.2.2.4 Построение модели для исследования конструкции должно соответствовать требованиям, приведенным в *приложении В/2.2*.

2.2.3 Нагрузки и режимы нагрузок

2.2.3.1 Комбинации статических и динамических нагрузок судна, которые могут наложить на конструкцию корпуса наиболее тяжелый режим нагрузок, должны исследоваться при анализе конструкции.

2.2.3.2 Стандартные режимы нагрузок, используемые при анализе конструкции, приведены в *приложении В/2.3.1*. Эти режимы нагрузок охватывают условия плавания (комбинация расчетных нагрузок S+D) и условия стоянки/испытания в опытовом бассейне (комбинация расчетных нагрузок S).

2.2.3.3 Если режимы нагрузок, установленные проектировщиком, не охватываются стандартными случаями нагрузки, должны быть рассмотрены дополнительные режимы нагрузки, см. также *приложение В/2.3.1*.

2.2.4 Приложение нагрузок и граничные условия

2.2.4.1 Все одновременно действующие нагрузки эквивалентного бруса и местные нагрузки должны прикладываться к модели. Приложение нагрузок эквивалентного бруса и местных нагрузок к конечноэлементной модели должно соответствовать требованиям *приложения В/2.4* и *В/2.5*.

2.2.4.2 Граничные условия, которые должны применяться, приведены в *приложении В/2.6*.

2.2.5 Критерии приемлемости

2.2.5.1 Проверка результатов по критериям приемлемости производится в соответствии с *приложением В/2.7*.

2.2.5.2 Проверка результатов по критериям приемлемости должна выполняться для всех конструктивных элементов в пределах продольной протяженности средних танков конечноэлементной модели, состоящей из трех танков, и участков в нос и в корму от средних танков до расположения шельфа поперечной переборки и подпоры. Для оценки прочности на срез в районе поперечных переборок под действием срезывающих нагрузок эквивалентного бруса, уровень напряжений и устойчивость при продольном изгибе продольных переборок внутреннего корпуса, включая верхний наклонный лист, если он установлен, бортовая обшивка, продольные переборки, продольные балки скуловой цистерны и днища должны быть проверены по критериям приемлемости. См. также *приложение В/2.7.1*.

2.2.5.3 Анализ конструкции должен продемонстрировать, что допустимые критерии напряжения Мизеса и коэффициент нагрузки при потере устойчивости для листов и подкрепленных панелей, указанные в *табл. 9.2.1 и 9.2.2*, не превышены.

2.2.5.4 Модели устойчивости, используемые для оценки местной устойчивости при продольном изгибе листов и подкрепленных панелей, должны основываться на вычете полной надбавки к толщине на коррозию из листов и ребер жесткости, как описывается в *разделе 6/3.3.6.2* и *приложении В/2.7.3*.

2.2.5.5 Если нижняя опора не установлена у поперечной или продольной гофрированной переборки, максимальные допустимые напряжения и коэффициенты нагрузки при продольном изгибе, приведенные в *табл. 9.2.1 и 9.2.2*, должны быть уменьшены на 10 % с учетом гофра и нижней опорной конструкции в пределах протяженности, определенной ниже:

а) полная высота гофра;
б) опорная конструкция для поперечной гофрированной переборки – в продольном направлении в пределах половины шпации рамного шпангоута в корму и в нос от переборки;
в) опорная конструкция для продольной гофрированной переборки – в поперечном направлении в пределах трех расстояний между продольными ребрами жесткости с каждой стороны переборки.

Таблица 9.2.1

Максимально допустимые напряжения

Конструктивный элемент	**Коэффициент использования предела текучести**
Внутренняя конструкция танков	
Обшивка всех негерметичных конструктивных элементов, включая поперечную рамную конструкцию, отбойные переборки, внутренние стенки, горизонтальные балки, флоры и продольные элементы. Полки основных опорных конструкций, моделированных с использованием листовых или стержневых элементов	$\gamma_y \le 1{,}0$ (комбинация нагрузки S+D) $\gamma_y \le 0{,}8$ (комбинация нагрузок S)
Граничные конструкции танка	
Настил палубы, борта, внутренние борта, наклонный лист, скуловой лист, плоские и гофрированные продольные переборки грузовых танков	$\gamma_y \le 0{,}9$ (комбинация нагрузок S+D) $\gamma_y \le 0{,}72$ (комбинация нагрузок S)
Настил внутреннего дна, днище, плоские поперечные переборки и гофрированные переборки. Непроницаемые флоры, балки и стенки	$\gamma_y \le 0{,}8$ (Комбинация нагрузок S+D) $\gamma_y \le 0{,}64$ (комбинация нагрузок S)

где γ_y коэффициент использования предела текучести

$= \dfrac{\sigma_{vm}}{\sigma_{yd}}$ для листовых элементов в целом;

$= \dfrac{\sigma_{rod}}{\sigma_{yd}}$ для стержневых элементов в целом;

σ_{vm} напряжение Мизеса, вычисленное на основе мембранных напряжений в центре тяжести элемента, Н/мм^2;

σ_{rod} осевое напряжение в стержневом элементе, Н/мм^2;

σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2, но не должно приниматься больше, чем 315 Н/мм^2 для комбинаций нагрузки S + D в местах концентрации напряжений [2].

Примечание

1. Конструктивные элементы, приведенные в таблице, даются только для руководства. Напряжения для всех частей конечноэлементной модели, описанной в *2.2.5.2*, должны проверяться по допустимым критериям приемлемости. См. также *приложение B/2.7.1*.

2. Места концентрации напряжений – это углы отверстий, шарнирные соединения, концы и пятки главных несущих элементов и ребер жесткости.

3. Если нижняя опора не установлена у поперечной продольной гофрированной переборки, максимально допустимые напряжения должны быть уменьшены на 10 % в соответствии с *2.2.5.5*.

Таблица 9.2.2

Максимально допустимый коэффициент использования в отношении потери устойчивости

Конструктивный элемент	**Коэффициент использования потери устойчивости**
Плоские и подкрепленные панели[3]	$\eta \le 1{,}0$ (комбинация нагрузок S + D) $\eta \le 0{,}8$ (комбинация нагрузок S)
Стенка составной балки в районе отверстий	$\eta \le 1{,}0$ (комбинация нагрузок S + D) $\eta \le 0{,}8$ (комбинация нагрузок S)
Изгиб пиллерса поддерживаемой конструкции	$\eta \le 0{,}5$ (комбинация нагрузок S + D) $\eta \le 0{,}4$ (комбинация нагрузок S)
Гофрированные переборки – потеря устойчивости фланца – потеря устойчивости стойки	 $\eta \le 0{,}9$ (комбинация нагрузок S + D) $s \le 0{,}72$ (комбинация нагрузок S)

где η коэффициент использования в отношении потери устойчивости, рассчитанный в соответствии с *приложением D/5* и *приложением B/2.7.3*. См. также *раздел 10/3.4.1* для стенки составной балки в районе отверстий и *раздел 10/3.5.1* для поддерживаемых конструкций.

Примечание

1. Устойчивость при продольном изгибе искривленных панелей (например, скулового листа), свободного пояска и триппинг бракет главных несущих элементов не должна оцениваться по полученному результату анализа с помощью метода конечных элементов анализа.

2. Если нижняя опора не установлена у поперечной или продольной гофрированной переборки, максимально допустимые коэффициенты использования потери устойчивости должны быть уменьшены на 10 % в соответствии с *2.2.5.5*.

3. Допустимые коэффициенты использования потери устойчивости, указанные в настоящей таблице, применимы к усовершенствованному методу оценки исходной потери устойчивости, приведенному в *приложении D/1.1.2*. Если используются альтернативные методы оценки потери устойчивости, допустимые коэффициенты использования должны оцениваться и, если необходимо, корректироваться, чтобы соответствовать критериям приемлемости для эквивалентности, как указано в *приложении D/1.1.2*.

2.3 Локальный анализ прочности конструкции с использованием сетки с малым шагом

2.3.1 Цель и область применения

2.3.1.1 Для танкеров обычной конструкции в качестве минимального требования должны быть исследованы следующие участки в пределах средней грузовой зоны:

а) концы и отверстия основной кницы в критических местах и верхнее соединение скуловой цистерны типичной поперечной рамной конструкции, расположенной в среднем танке. Если установлена отбойная переборка, концы и отверстия основной кницы в критических местах поперечных и вертикальных стенок;

б) концы и опорные кромки основной кницы в критических местах типичной поперечной рамной связи, примыкающей к поперечной переборке в районе горизонтальных стрингеров поперечной переборки;

в) концы, опорные кромки и отверстия основной кницы в критических местах горизонтальных стрингеров, соединения поперечной переборки с балкой двойного дна или подпорой типичной поперечной переборки;

г) соединения поперечных и продольных гофрированных переборок с нижней опорой или опорной конструкцией второго дна и двойного дна, если нижняя опора не установлена. Если установлена горизонтальная кница, соединение между гофром и верхними углами горизонтальной кницы должно быть оценено;

д) концевые кницы и прикрепленные ребра жесткости стенки типичных продольных ребер жесткости двойного дна и палубы и примыкающее вертикальное ребро жесткости поперечной переборки.

2.3.1.2 Выбор критических мест на конструктивных элементах, описанных в *2.3.1.1* для выполнения анализа с использованием сетки с малым шагом должен соответствовать *приложению В/3.1.*

2.3.1.3 Если уровень напряжений в местах концентрации напряжений на конструктивных элементах, не указанных в *2.3.1.1*, превышает критерии приемлемости анализа грузового танка, для демонстрации удовлетворительных размеров должен быть проведен анализ с использованием сетки с малым шагом.

2.3.1.4 Если геометрия детали конструкции не может быть надлежащим образом представлена в конечноэлементной модели грузового танка, для демонстрации удовлетворительных размеров может использоваться анализ с использованием сетки с малым шагом.

2.3.2 Построение модели для исследования конструкции

2.3.2.1 Модели конструкции с использованием сетки с малым шагом должны соответствовать требованиям, приведенным в *приложении В/3.2.*

2.3.2.2 Анализ с использованием сетки с малым шагом может проводиться с помощью отдельной локальной конечноэлементной модели с зонами сетки с малым шагом с учетом граничных условий, полученных из модели грузового танка, или путем включения зон сетки с малым шагом в модель грузового танка.

2.3.2.3 Протяженность локальных конечноэлементных моделей должна быть такой, чтобы рассчитанные напряжения в местах, представляющих интерес, не подвергались значительному влиянию наложенных граничных условий и приложения нагрузок. Подробные требования по протяженности локальных конечноэлементных моделей приведены в *приложении В/3.2.*

2.3.2.4 Зона сетки с малым шагом должна представлять локализованный участок высоких напряжений. Размер ячеек конечных элементов в зонах сетки с малым шагом должен быть не больше 50 мм × 50 мм. Протяженность зоны сетки с малым шагом должна соответствовать *приложению В/3.2.*

2.3.2.5 Модели с использованием сетки с малым шагом должны основываться на размерах сетки в соответствии с *разделом 6/3.3.6.3* и *приложением В/3.2.*

2.3.3 Нагрузки и режимы нагрузок

2.3.3.1 Подробный анализ напряжений с использованием сетки с малым шагом должен выполняться для стандартных случаев нагрузки и любых других специально оговоренных случаев нагрузки в соответствии с требованием *2.2.3.*

2.3.4 Приложение нагрузок и граничных условий

2.3.4.1 Приложение нагрузок и граничных условий к конечноэлементной модели должно соответствовать требованиям, приведенным в *приложении В/3.4.*

2.3.5 Критерии приемлемости

2.3.5.1 Проверка результатов определения напряжений по критериям приемлемости должна осуществляться в соответствии с *приложением В/3.5.*

2.3.5.2 Оценка конструкции должна продемонстрировать, что напряжения Мизеса, полученные в результате конечноэлементного анализа с использованием сетки с малым шагом, не превышают максимально допустимые критерии напряжений, указанные в *табл. 9.2.3.*

Таблица 9.2.3

Максимально допустимые мембранные напряжения для анализа с использованием сетки с малым шагом

Напряжение в элементе	**Коэффициент использования предела текучести**
Элемент, не примыкающий к сварному шву	$\lambda_y \le 1{,}7$ (комбинация нагрузок S+D) $\lambda_y \le 1{,}36$ (комбинация нагрузок S)
Элемент, примыкающий к сварному шву	$\lambda_y \le 1{,}5$ (комбинация нагрузок S+D) $\lambda_y \le 1{,}2$ (комбинация нагрузок S)

где λ_y коэффициент использования предела текучести

$= \dfrac{k\,\sigma_{vm}}{235}$ для листового элемента;

$= \dfrac{k\,\sigma_{rod}}{235}$ для стержневого или балочного элемента;

σ_{vm} напряжение Мизеса, рассчитанное на основании мембранного напряжения в центре тяжести элемента, Н/мм^2;

σ_{rod} осевое напряжение в стержневом элементе, Н/мм^2;

k коэффициент использования стали повышенной прочности, как определено в *разделе 6/1.1.4*, который не должен приниматься менее, чем 0,78 для комбинации нагрузок S+D.

Примечание

1. Если напряжение Мизеса элементов в конечноэлементной модели грузового танка в районе участка, исследуемого с помощью сетки с малым шагом, превышает свое допустимое значение, указанное в *табл. 9.2.1*, среднее напряжение Мизеса, полученное в результате анализа с использованием сетки с малым шагом, рассчитанное на площади, равноценной размеру сетки конечноэлементной модели грузового танка, должно быть меньше, чем допустимое значение, указанное в *табл. 9.2.1*.

2. Максимально допустимые напряжения основываются на размере сетки 50 мм × 50 мм. Если используется сетка меньших размеров, среднее напряжение Мизеса, рассчитанное в соответствии с *приложением B/3.5.1* на площади, равной указанному размеру сетки, может использоваться для сравнения с допустимыми напряжениями.

3. Среднее напряжение Мизеса должно рассчитываться на основе средневзвешенной величины по отношению к площадям элемента:

$$\sigma_{vm\text{-}av} = \frac{\sum_1^n A_i \sigma_{vm\text{-}i}}{\sum_1^n A_i},$$

где $\sigma_{vm\text{-}av}$ среднее напряжение Мизеса;

$\sigma_{vm\text{-}i}$ напряжение Мизеса i-го листового элемента в рассматриваемом участке;

A_i площадь i-го листвого элемента в рассматриваемом участке;

n число элементов в рассматриваемом участке.

4. Усреднение напряжений не должно производиться по разрывам непрерывности конструкций и примыкающим конструкциям.

5. Если нижняя опора не установлена у поперечной или продольной гофрированной переборки, максимально допустимые напряжения должны быть уменьшены на 10 % для участков, исследуемых путем анализа с помощью метода конечных элементов.

2.4 Применение размеров в грузовой зоне

2.4.1 Общие положения

2.4.1.1 Применение размеров, которые соответствуют требованиям конечноэлементной оценки, к конструкции в пределах грузовой зоны, должно соответствовать требованиям, приведенным в настоящем подразделе.

2.4.1.2 Применение, приведенное в настоящем подразделе, предполагает, что тот же самый предел текучести материала поддерживается во всей грузовой зоне. Если применяется сталь, имеющая иной предел текучести, должна быть проведена оценка требуемых размеров.

2.4.1.3 Процедура масштабирования, приведенная в настоящем подразделе, основывается на размерах, которые удовлетворяют требования, указанные в *разделе 9/2* и *приложении B*.

2.4.1.4 Толщина нетто и характеристики сечения для обшивки и элементов основного набора, описанных в данном подразделе, должны основываться на вычете всей надбавки на коррозию, как указано в *разделе 6/табл. 6.3.2* из полной толщины. Полная толщина листов, стенки и свободного пояска элементов основного набора должна определяться путем прибавления полной надбавки на коррозию к толщине нетто.

2.4.2 Применение размеров к палубе

2.4.2.1 Размеры палубного настила и палубных продольных ребер жесткости должны поддерживаться в продольном направлении в пределах 0,4L на миделе. Размеры палубного настила и палубных продольных ребер жесткости в заданном поперечном сечении в пределах 0,4L на миделе не должны приниматься меньше, чем максимальные размеры, требующиеся для соответствующего поперечного сечения вдоль длины средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*.

2.4.2.2 За пределами 0,4L на миделе размеры палубного настила и палубных продольных ребер жесткости могут быть сведены к размерам, требуемым *разделом 8* на концах грузовой зоны.

2.4.3 Применение размеров к внутреннему дну

2.4.3.1 Толщина настила внутреннего дна может меняться по длине и ширине танка.

2.4.3.2 Размеры настила внутреннего дна и продольных ребер жесткости средних грузовых танков не должны быть меньше тех, которые требуются для соответствующего положения средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. Эти размеры должны поддерживаться для всех танков в пределах грузовой зоны, кроме ближайших к носу и корме грузовых танков.

2.4.3.3 Для ближайших к носу и корме грузовых танков размеры продольных ребер жесткости внутреннего дна не должны быть меньше, чем размеры, требующиеся для средних грузовых танков, при условии, что расстояние между главными несущими элементами не уменьшено для носового и/или кормового грузового танка. Минимальная толщина нетто настила внутреннего дна, $t_{ib\text{-}net}$, определяется по формуле:

$$t_{ib-net} = t_{ib-net-mid}\left(\frac{l_{bdg}}{l_{bdg-mid}}\right)^{0,25}\frac{s_{ib}}{s_{ib-mid}} \text{ мм},$$

где $t_{ib\text{-}net\text{-}mid}$ требуемая толщина нетто настила внутреннего дна для соответствующего положения среднего танка, мм;

l_{bdg} эффективный пролет, в котором происходит изгиб, флора в рассматриваемом месте, в соответствии с *рис. 4.2.7*, м;

$l_{bdg\text{-}mid}$ эффективный пролет, в котором происходит изгиб, флора в соответствующем месте в среднем танке, как определено в соответствии с *рис. 4.2.7*, м;

s_{ib} расстояние между продольными ребрами жесткости в рассматриваемом месте, мм;

$s_{ib\text{-}mid}$ расстояние между продольными ребрами жесткости в соответствующем месте в среднем танке, мм.

2.4.4 Применение размеров к днищу

2.4.4.1 Размеры днищевых продольных ребер жесткости должны поддерживаться в продольном направлении в пределах 0,4L на миделе. Размеры днищевого продольного ребра жесткости в заданном поперечном сечении в пределах 0,4L на миделе судна не должны быть меньше максимальных размеров, требующихся для соответствующего поперечного сечения вдоль длины средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*.

2.4.4.2 За пределами 0,4L на миделе размеры днищевых продольных ребер жесткости могут быть сведены к тем, которые требуются *разделом 8* на концах грузовой зоны.

2.4.4.3 Толщина обшивки днища может изменяться по длине и ширине танка. Толщина днищевой обшивки средних танков не должна быть меньше, чем та, которая требуется для соответствующего места средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. Эти толщины должны поддерживаться для всех танков в пределах грузовой зоны, кроме ближайшего к носу и к корме грузового танка.

2.4.4.4 Для ближайших к носу и корме грузовых танков требуемая минимальная толщина нетто днищевой обшивки, $t_{btm\text{-}net}$, должна определяться по следующей формуле:

$$t_{btm\text{-}net} = t_{btm\text{-}net\text{-}mid}\left(\frac{l_{bdg}}{l_{bdg\text{-}mid}}\right)^{0,25}\frac{s_{btm}}{s_{btm\text{-}mid}} \text{ мм,}$$

где $t_{btm\text{-}net\text{-}mid}$ требуемая толщина нетто днищевой обшивки для соответствующего положения среднего танка, мм;
l_{bdg} эффективный пролет, в котором происходит изгиб, флора в рассматриваемом месте в соответствии с *рис. 4.2.7*, м;
$l_{bdg\text{-}mid}$ эффективный пролет, в котором происходит изгиб, флора в соответствующем месте в среднем танке, как определено на *рис.4.2.7*, м;
s_{btm} расстояние между продольными ребрами жесткости в рассматриваемом месте, мм;
$s_{btm\text{-}mid}$ расстояние между продольными ребрами жесткости в соответствующем месте в среднем танке, мм.

2.4.5 Применение размеров к бортовой обшивке, продольным переборкам и продольным переборкам внутреннего корпуса

2.4.5.1 Размеры листов и продольных ребер жесткости бортовой обшивки, продольных переборок и продольных переборок внутреннего корпуса в пределах 0,15D от палубы должны поддерживаться в продольном направлении в пределах 0,4L на миделе. Размеры обшивки и продольного ребра жесткости на заданной высоте не должны быть меньше, чем максимальные размеры, требующиеся для соответствующего вертикального участка вдоль длины средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. За пределами 0,4L на миделе размеры обшивки и ребер жесткости в пределах 0,15D от палубы могут быть сведены к размерам, требующимся *разделом 8* на концах грузовой зоны.

2.4.5.2 Толщина листов бортовой обшивки, продольных переборок и продольных переборок внутреннего корпуса, включая листы скуловой цистерны, за пределами 0,15D от палубы могут изменяться по длине и высоте танка. Толщина листов на расстоянии от поперечных переборок не должны быть меньше, чем те, которые требуются для соответствующего месторасположения средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. Эти размеры должны поддерживаться для всех танков в пределах грузовой зоны кроме ближайшего к носу и корме грузового танка. Для ближайшего к носу и корме грузовых танков минимальная толщина нетто листов бортовой обшивки, продольных переборок или продольных переборок внутреннего корпуса (включая листы скуловой цистерны) за пределами 0,15D от палубы определяется по следующей формуле:

$$t_{net} = t_{net\text{-}mid}\frac{s_{ib}}{s_{ib\text{-}mid}} \text{ мм,}$$

где $t_{net\text{-}mid}$ требуемая толщина нетто для соответствующего места в среднем танке, мм;
s_{ib} расстояние между продольными ребрами жесткости в рассматриваемом месте, мм;
$s_{ib\text{-}mid}$ расстояние между продельными ребрами жесткости в соответствующем месте в среднем танке, мм.

2.4.5.3 Толщина листов бортовой обшивки, продольных переборок и продольных переборок внутреннего корпуса, включая листы скуловой цистерны, в районе поперечных переборок, требующихся для подкрепления с учетом воздействия срезывающих нагрузок эквивалентного бруса, не должна быть меньше толщины, требующейся *приложением B/1.1.1.6*, *B/1.1.1.7* и *B/1.1.1.8*.

В пределах 0,15*D* от палубы толщина листов в районе поперечных переборок не должна приниматься меньше, чем та, которая требуется *2.4.5.1*. За пределами 0,15*D* от палубы, толщины листов в районе поперечных переборок не должны приниматься меньшими, чем те, которые требуются *2.4.5.2*.

2.4.5.4 Размеры продольных ребер жесткости бортовой обшивки, продольных переборок, продольных переборок внутреннего корпуса и листа скуловой цистерны на заданной высоте, за пределами 0,15*D* от палубы не должны быть меньше, чем те, которые требуются для соответствующего вертикального участка средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. Эти размеры должны поддерживаться для всех танков в пределах грузовой зоны.

2.4.6 Применение размеров к поперечным переборкам

2.4.6.1 Размеры обшивки поперечных переборок, ребер жесткости и горизонтальных стрингеров могут изменяться по высоте и ширине переборки. Размеры в заданном месте должны быть не меньше, чем максимальные размеры, требующиеся в соответствующем месторасположении обеих концевых поперечных переборок среднего танка конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованием *приложения B/1.1.1.5*.

2.4.7 Применение размеров к главным несущим элементам

2.4.7.1 Толщина стенки главных несущих элементов может меняться по длине, ширине и высоте танка. Размеры главных несущих элементов не должны быть меньше, чем те, которые требуются для соответствующего положения средних танков конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с требованиями *приложения B/1.1.1.5*. Эти размеры должны поддерживаться для всех танков в пределах грузовой зоны, кроме ближайших к носу и корме грузовых танков.

2.4.7.2 Требования к размерам для главных несущих элементов в ближайших к носу и корме грузовых танков должны определяться путем масштабирования размеров соответствующих конструктивных элементов в средних танках в соответствии с *разделом 8/2.6.9*.

2.4.8 Детали конструкции и отверстия

2.4.8.1 Расположение и размеры отверстий и деталей конструкции главных несущих элементов, соответствующие требованиям *приложения B/3*, должны применяться к соответствующим конструктивным элементам во всех танках в пределах грузовой зоны.

3 Усталостная прочность

3.1 Оценка усталости

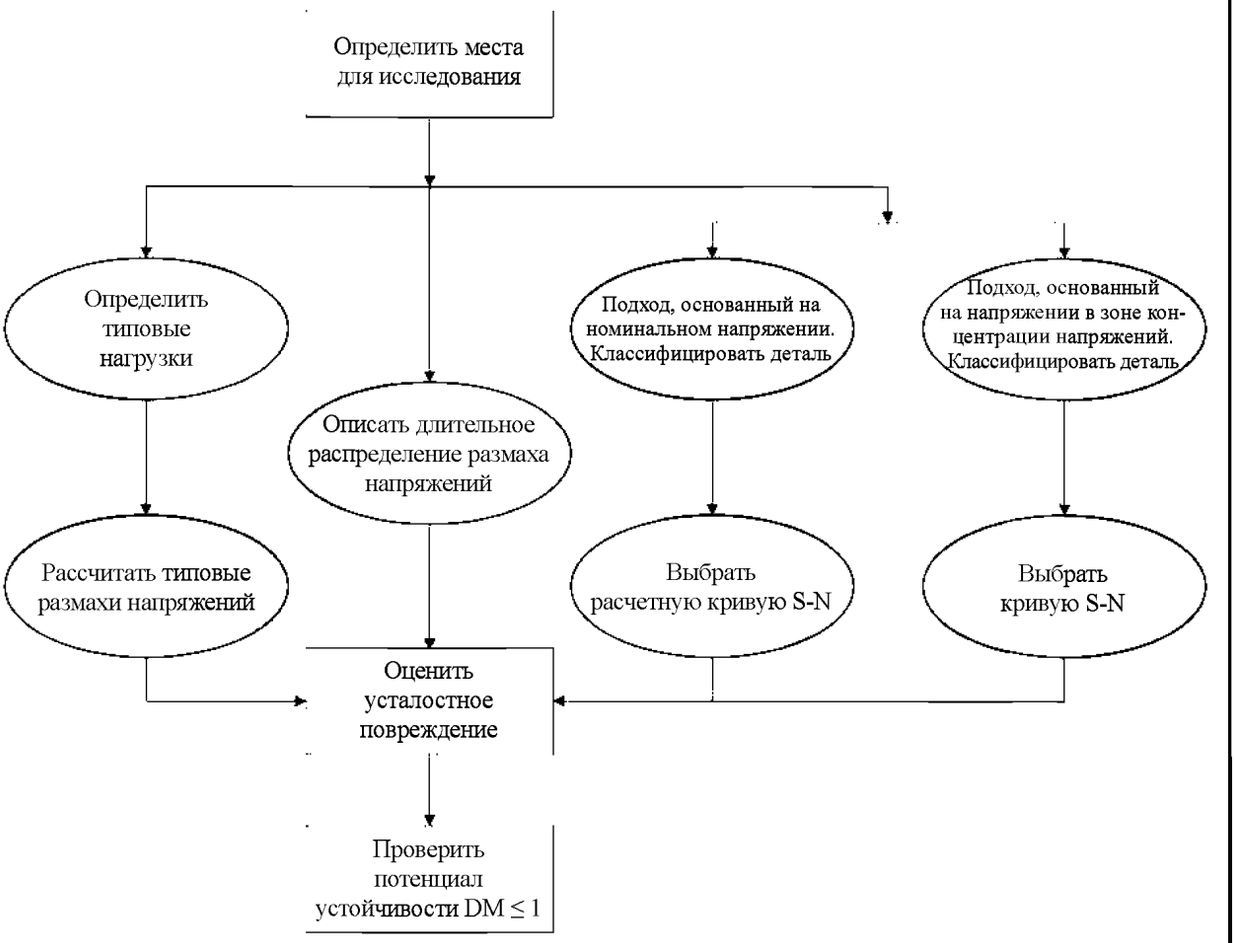
3.1.1 Общие положения

3.1.1.1 В данном подразделе, а также *приложении C*, приводятся минимальные требования Правил к проектированию с учетом усталостных разрушений для деталей конструкции, рассмотренных в данных Правилах. Детали конструкций в других местах, которые считаются критическими, могут потребовать оценку с использованием метода, согласующегося с методом, содержащимся в данных Правилах.

3.1.1.2 Критерии усталости, применимые к широкому ассортименту деталей конструкции и устройств, должны использоваться для оценки усталостной прочности с использованием числового метода.

3.1.1.3 Анализ усталости должен выполняться с использованием либо подхода, основанного на номинальном напряжении, либо подхода, основанного на напряжении в зоне концентрации напряжений, в зависимости от деталей конструкции, как указано в *3.4*. Методика иллюстрируется на *рис. 9.3.1*.

Рис. 9.3.1
Схема процесса оценки усталости (для каждого места или детали конструкции).



3.1.1.4 При подходе, основанном на номинальном напряжении, напряжения в конструктивном элементе рассчитываются с использованием либо аналитических методов (например, балочной модели) либо с использованием числовых методов (например, конечноэлементная сетка с большим шагом), основываясь на приложенных нагрузках и конструктивных свойствах элемента.

3.1.1.5 При подходе, основывающемся на напряжении в зоне концентрации напряжений, местные напряжения в критическом месте (в жесткой точке), где могут возникнуть усталостные трещины, оцениваются числовыми методами (например, путем анализа методом конечных элементов с использованием сетки с малым шагом). Анализ учитывает влияние нарушений непрерывности конструкций вследствие геометрии соединения, но не учитывает влияние сварных швов.

3.2 Критерии усталости

3.2.1 Модель коррозии

3.2.1.1 Толщина нетто в соответствии с *разделом 6/3.3.7* должна использоваться при оценке усталости.

3.2.2 Нагрузки

3.2.2.1 Для оценки усталости должны использоваться нагрузки, указанные в *разделе 7/3*, которые основываются на условиях волнения в Северной Атлантике. Другие вторичные цикличные нагрузки, как например, слемминг, низкоцикличные нагрузки или вызванные вибрацией усталостные нагрузки, которые могут привести к значительным уровням размаха напряжений за ожидаемый

срок службы судна, хотя и не являются объектом настоящих Правил, могут нуждаться в специальном рассмотрении.

3.2.2.2 Данные Правила предполагают для оценки применения и усталостной прочности вероятность превышения с уровнем 10^{-4}.

3.2.3 Критерии приемлемости

3.2.3.1 Критерии, указанные в настоящем подразделе и *приложении С*, представлены как сравнение усталостной прочности конструкции (потенциал) и вызванных усталостью нагрузок (возможных) в виде параметра усталостного повреждения, *DM*, см. *приложение С/1.4.1.1*. Рассчитанное усталостное повреждение, *DM*, должно быть меньше, или равным 1 для расчетного срока службы судна, который не должен приниматься меньше, чем 25 лет.

3.3 Места для проведения оценки усталостной прочности

3.3.1 Продольная конструкция

3.3.1.1 Оценка усталостной прочности должна выполняться и представляться для концевых соединений продольных ребер жесткости с поперечными переборками, включая отбойные переборки и рамными связями в пределах грузовой зоны, расположенных на днище, внутреннем дне, бортах, внутреннем борте, продольных переборках и прочной палубе.

3.3.1.2. Оценка усталостной прочности должна производиться для гребенок в районе соединений блоков на прочной палубе в пределах грузовой зоны.

3.3.2 Поперечная конструкция

3.3.2.1 Оценка усталостной прочности должна производиться и представляться для соединения между внутренним дном и листом скуловой цистерны для, по крайней мере, одного шпангоута вблизи миделя. Общий размах напряжений для оценки усталости должен определяться на основании анализа методом конечных элементов с использованием сетки с малым шагом.

3.4 Методы оценки усталости

3.4.1 Подход, основывающийся на номинальном напряжении

3.4.1.1 Подход, основывающийся на номинальном напряжении, как описано в *приложении С/1*, должен использоваться для оценки усталости следующих элементов:

а) концевые соединения продольного ребра жесткости с поперечными переборками, включая отбойные переборки, и рамными связями на днище, внутреннем дне, борту, внутреннем борту, продольных переборках и прочной палубе;
б) гребенки в районе соединений блоков на прочной палубе, как описано в *приложении С/1.6*.

3.4.2 Подход, основывающийся на напряжении в зоне концентрации напряжений

3.4.2.1 Подход, основывающийся на напряжении в зоне концентрации напряжений, как описано в *приложении С/2*, должен использоваться для оценки усталости следующих элементов:

а) соединение между внутренним дном и листом скуловой цистерны.

3.4.3 Альтернативный подход, основывающийся на прямом вычислении

3.4.3.1 Если считается необходимым произвести оценку усталости с использованием альтернативного подхода, основывающегося на прямом вычислении без приложения нагрузок, указанных в *разделе 7/3*, он должен быть основан на методиках конкретного классификационного общества. Однако размеры ни в коем случае не должны быть меньше тех, которые требуются *3.4.1* и *3.4.2*.

РАЗДЕЛ 10. УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ

1 Общие положения

1.1 Критерии прочности

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 В настоящем разделе содержатся критерии устойчивости и предельной прочности элементов основного набора, главных несущих элементов и других конструкций, таких как например, пиллерсы, гофрированные переборки и кницы. Эти критерии должны применяться, как указано в *разделе 8* для определения первоначальных конструктивных размеров, а также в *разделе 9* для проверки проекта.

1.1.1.2 Все конструктивные элементы должны соответствовать требованиям жесткости и соотношения размеров, указанным в *подразделе 2*.

1.1.1.3 Для каждого конструктивного элемента характерная проверка устойчивости должна приниматься для неблагоприятных/критических случаев.

1.1.1.4 Критерии прочности должны основываться на следующих предположениях и ограничениях в отношении контроля устойчивости и предельной прочности конструкции:

а) устойчивость ребер жесткости должна быть больше устойчивости листовых панелей, которые они поддерживают;
б) ребра жесткости, поддерживающие главные несущие элементы, должны иметь достаточную инерцию для предотвращения потери устойчивости плоской формы изгиба главного несущего элемента, см. *2.3.2.3*;
в) все ребра жесткости со своими свободными поясками должны иметь моменты инерции для обеспечения должной боковой устойчивости, см. *2.2.2*;
г) размеры элементов основного набора и главных несущих элементов должны предотвращать локальную неустойчивость;
д) потеря устойчивости главных несущих элементов (например, боковая неустойчивость) должна предотвращаться путем установки триппинг бракет или равноценных устройств, см. *2.3.3*;
е) стенка главных несущих элементов должна быть такой, чтобы предотвращалась потеря устойчивости листа в упругой области между ребрами жесткости стенки;
ж) для листов с вырезами устойчивость при продольном изгибе участков, окружающих вырез, и любые подкрепления кромок являются надлежащими, см. *3.4.2 и 2.4.3*.

2 Жесткость и соразмерность

2.1 Конструктивные элементы

2.1.1 Общие положения

2.1.1.1 Все конструктивные элементы должны соответствовать применимым требованиям в отношении гибкости или соотношений размеров, приведенным в *2.2 – 2.3*.

2.1.1.2 Приведенные ниже требования основываются на размерах нетто, см. также *раздел 6/3*.

2.1.1.3 В отношении конструктивной идеализации и определений см. *раздел 4/2*.

2.2 Листы и элементы основного набора

2.2.1 Размеры листовых панелей и элементов основного набора

2.2.1.1 Толщина нетто листовых панелей и ребер жесткости должна удовлетворять следующим критериям:

а) листовые панели

$$t_{net} \geq \frac{s}{C}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}};$$

б) стенка ребра жесткости

$$t_{w-net} \geq \frac{d_w}{C_w}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}};$$

в) фланец/свободный поясок

$$t_{f-net} \geq \frac{b_{f-out}}{C_f}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}},$$

где s ширина листа, в мм, принятая как расстояние между ребрами жесткости, как определено в *разделе 4/2.2.1*;
t_{net} толщина нетто листа, мм;
d_w высота стенки ребра жесткости, мм;
$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки, мм;
$b_{f\text{-}out}$ ширина выступающей части фланца, мм, как указано в *табл. 10.2.1*;
$t_{f\text{-}net}$ толщина нетто фланца, мм;
C, C_w, C_f коэффициенты гибкости, как приведено в *табл. 10.2.1*;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

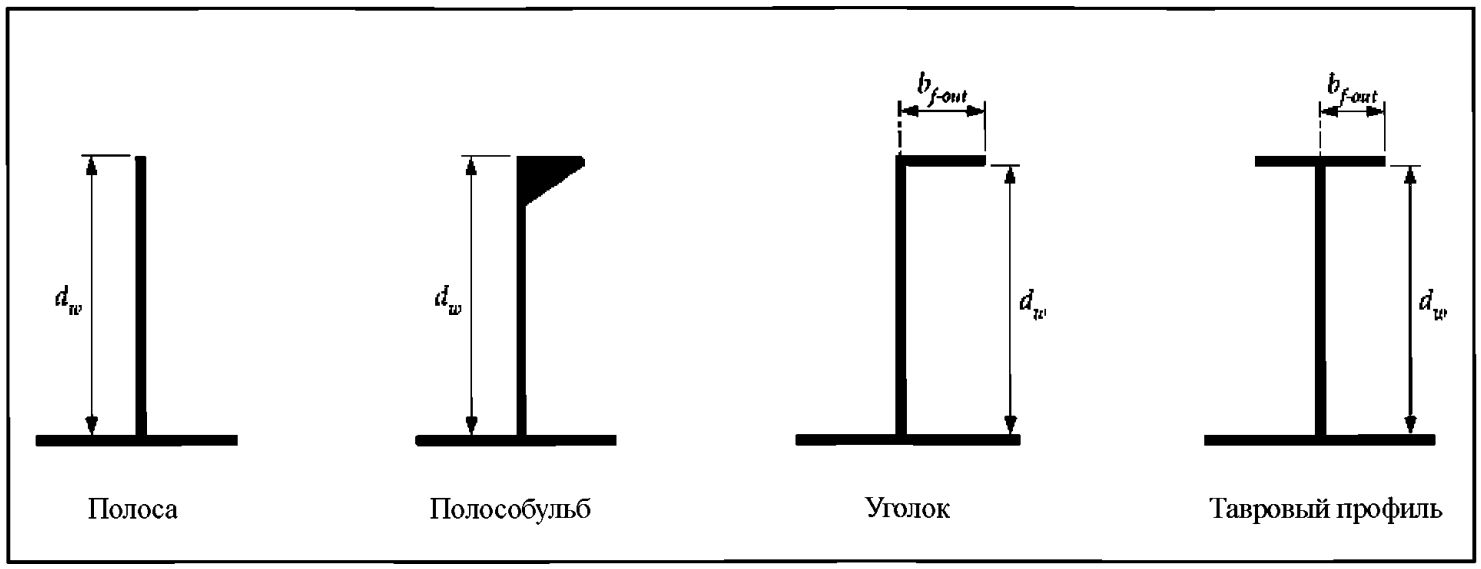
Таблица 10.2.1

Коэффициенты гибкости

Элемент		**Коэффициент**
листовая панель, C	оболочка корпуса и ограждающие конструкции танков	100
	прочие конструкции	125
стенка ребра жесткости, C_w	уголок и тавровый профиль	75
	бульбовый профиль	37
	полоса	22
фланец/свободный поясок [1], C_f	уголок и тавровый профиль	12

Примечание
1. Полная ширина фланца, b_f, для уголков и тавровых профилей не должна быть меньше, чем $b_f = 0{,}25d_w$.
2. Замеры ширины и высоты основываются на полных размерах, как описано в *разделе 4/2.4.1.2*.

где t_{net} толщина нетто листа, мм;
d_w высота стенки, мм;
$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки, мм;
$b_{f\text{-}out}$ ширина выступающей части фланца, мм;
$t_{f\text{-}net}$ толщина нетто фланца, мм.



2.2.2 Жесткость ребер жесткости

2.2.2.1 Минимальный момент нетто инерции относительно нейтральной оси, параллельной присоединенному пояску, I_{net}, каждого ребра жесткости с шириной нетто стенки, равной 80 % расстояния между ребрами жесткости, определяется по формуле:

$$I_{net} = Cl_{stf}^2 A_{net} \frac{\sigma_{yd}}{235} \text{ см}^4,$$

где l_{stf} длина ребра жесткости между опорами нетто, м;
A_{net} площадь нетто сечения ребра жесткости, включая присоединенный поясок, при ширине нетто 80 % от расстояния между ребрами жесткости, s, см^2;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как определено в *разделе 4/2.2.1*;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;
C коэффициент гибкости:
= 1,43 для продольных ребер жесткости, подвергающихся воздействию напряжений эквивалентного бруса;
= 0,72 для прочих ребер жесткости.

2.3 Главные несущие элементы

2.3.1 Размеры стенки и фланца/свободного пояска

2.3.1.1 Толщина нетто стенок и свободных поясков главных несущих элементов должна удовлетворять следующим критериям:

(а) стенка

$$t_{w-net} \geq \frac{s_w}{C_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}};$$

(б) фланец/свободный поясок

$$t_{f-net} \geq \frac{b_{f-out}}{C_f} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}},$$

где s_w ширина листа, мм, принятая как расстояние между подкреплениями стенки;
$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки, мм;
$b_{f\text{-}net}$ ширина выступающей части фланца, мм;
$t_{f\text{-}out}$ толщина нетто отогнутой кромки, мм;
C_w отношение шпации к толщине стенки = 100;
C_f отношение ширины к толщине фланца/свободного пояска = 12;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

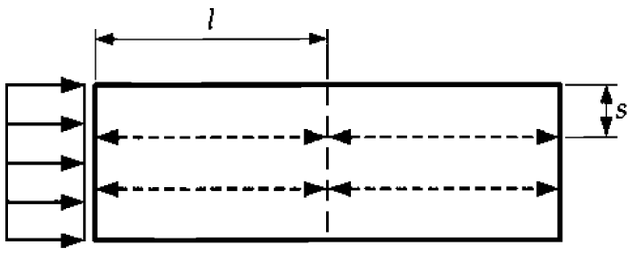
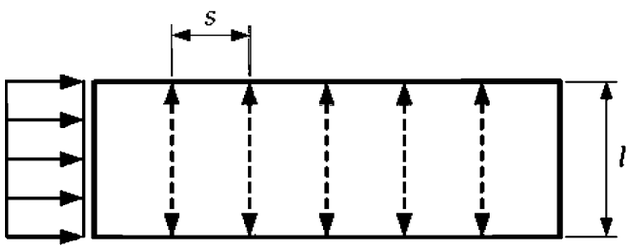
2.3.2 Требования к жесткости

2.3.2.1 Толщина нетто стенки и фланца рамных ребер жесткости не должна быть меньше, чем указано в *2.2.1*.

2.3.2.2 Момент нетто инерции каждого рамного ребра жесткости, I_{net}, с эффективной шириной стенки, равной 80 % расстояния между ребрами жесткости s, не должно быть меньше определенного в *табл. 10.2.2*.

Таблица 10.2.2

Критерии жесткости для подкрепления рамных ребер жесткости

Положение	Требования к инерции, см^4
(а) рамные ребра жесткости параллельны сжимающим напряжениям 	$I_{net} = 0{,}72\, l^2 A_{net} \dfrac{\sigma_{yd}}{235}$
(б) рамные ребра жесткости перпендикулярны к сжимающим напряжениям 	$I_{net} = 1{,}14\times10^{-5}\, l s^2 t_{w-net} \left(2{,}5 \dfrac{1000l}{s} - 2 \dfrac{s}{1000l}\right) \dfrac{\sigma_{yd}}{235}$
где l длина рамного ребра жесткости, м. Для рамных ребер жесткости, приваренных к элементам основного набора, длина должна измеряться между фланцами элементов основного набора. Для рамных ребер жесткости, срезанными на ус, длина должна измеряться между боковыми опорами, например, полное расстояние между фланцами главных несущих элементов, как показано в положении (б); A_{net} площадь нетто поперечного сечения рамного ребра жесткости, включая присоединенный поясок, при эффективной ширине 80 % от расстояния между ребрами жесткости, см^2; s расстояние между ребрами жесткости, мм, как определено в *разделе 4/2.2.1*; t_{w-net} толщина нетто стенки главного несущего элемента, мм; σ_{yd} спецификационный минимальный предел усталости материала стенки главного несущего элемента, Н/мм^2.	

2.3.2.3 Момент нетто инерции для ребер жесткости, поддерживающих главные несущие элементы $I_{prm-net\,50}$, подвергающихся воздействию осевых сжимающих напряжений, включая присоединенный поясок на середине пролета, не должен быть меньше, чем:

$$I_{psm-net50} = 300 \frac{l_{bdg}^4}{S^3 s} I_{net} \quad \text{см}^4,$$

где l_{bdg} пролет, в котором происходит изгиб, главного несущего элемента, м;
S расстояние между главными несущими элементами, м;
s расстояние между ребрами жесткости, мм, как определено в *разделе 4/2.2.1*;
I_{net} максимальный требуемый момент инерции, как указано в *2.2.2.1*, для ребер жесткости в пределах средней половины пролета, в котором происходит изгиб, см^4.

2.3.3 Расстояние между опорами фланцев или триппинг бракетами

2.3.3.1 Боковая устойчивость главных несущих элементов должна контролироваться опорами фланцев или триппинг бракетами. Неподкрепленная длина фланца главного несущего элемента, т.е. расстояние между триппинг бракетами, s_{bkt}, не должно быть больше, чем:

$$s_{bkt} = b_f C \sqrt{\frac{A_{f\text{-}net}}{\left(A_{f\text{-}net} + \frac{A_{w\text{-}net}}{3}\right)} \left(\frac{235}{\sigma_{yd}}\right)}$$ м, но не может быть меньше, чем $s_{bkt\text{-}min}$,

где b_f ширина фланца, мм;
C коэффициент податливости:
= 0,022 для симметричных фланцев;
= 0,033 для односторонних фланцев;
$A_{f\text{-}net}$ площадь нетто поперечного сечения отогнутой кромки, см^2;
$A_{w\text{-}net}$ площадь нетто поперечного сечения стенки, см^2;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;
$s_{brt\text{-}min}$ = 3,0 м для главных несущих элементов в районе грузового танка, на ограничивающих конструкциях танка или на обшивке корпуса, включая внешние палубы;
= 4,0 м для главных несущих элементов в других местах.

2.4 Прочие конструкции

2.4.1 Размеры пиллерсов

2.4.1.1 Для двутавровых профилей толщина стенки и толщина фланца должна соответствовать *2.2.1.1*.

2.4.1.2 Толщина тонкостенных коробчатых профилей должна соответствовать *2.2.1.1(б)*. Радиус круглых трубчатых профилей должен быть меньше 50-ти кратной толщины нетто пиллерса.

2.4.2 Размеры книц

2.4.2.1 Толщина концевых книц, t_{bkt}, за исключением оговоренной в *2.4.2.2*, не должна быть меньше указанной ниже:

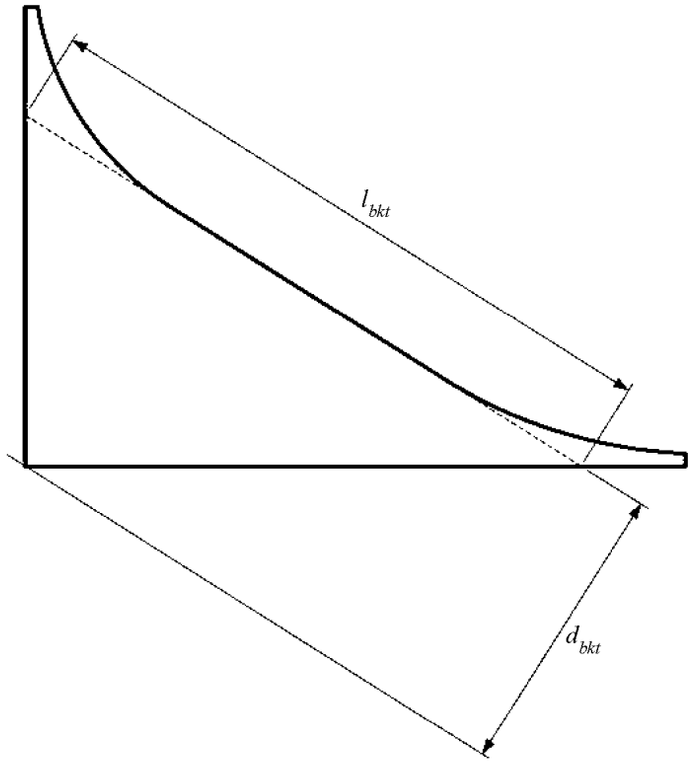
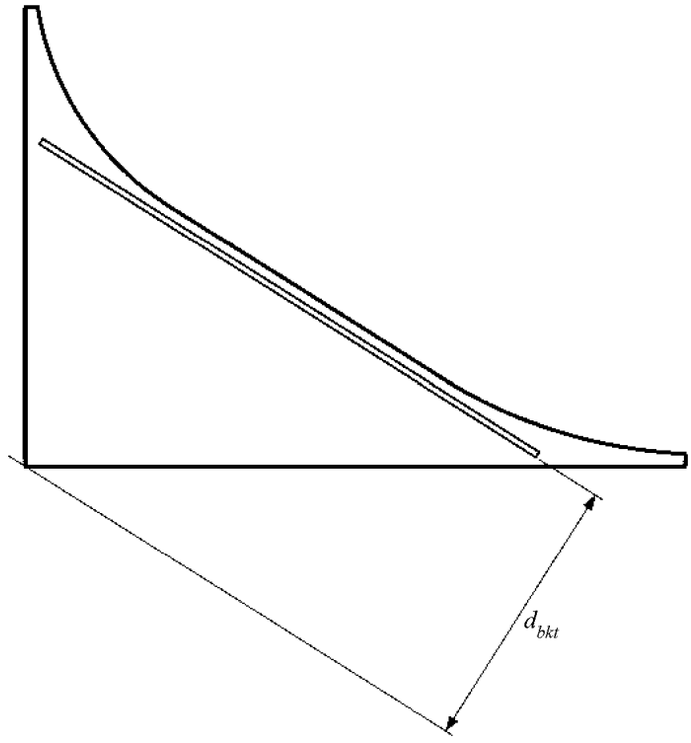
$$t_{bkt} = \frac{d_{bkt}}{C} \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$ мм,

где d_{bkt} высота книц, мм. См. *табл. 10.2.3*;
C коэффициент гибкости, как определено в *табл. 10.2.3*;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

2.4.2.2 Если можно продемонстрировать, что кница подвергается воздействию только растягивающих напряжений, например, в районе внутренних книц в танке, окруженным пустым пространством, требование в *2.4.2.1* может не соблюдаться.

Таблица 10.2.3

Коэффициент устойчивости, C, для размеров книц

Тип	C
(а) Бракеты без подкрепления кромки  	$C = 20\left(\frac{d_{bkt}}{l_{bkt}}\right) + 16$ где $0{,}25 \le \frac{d_{bkt}}{l_{bkt}} \le 1{,}0$
(б) Бракеты с подкреплением кромки  	C = 70
где l_{bkt} длина кромки кницы, мм.	

2.4.2.3 Триппинг бракеты на главных несущих элементах должны подкрепляться фланцем или кромкой ребра жесткости, если эффективная длина кромки, l_{bkt}, больше, чем:

$l_{bkt} = 75t_{bkt}$ мм,

где t_{bkt} толщина кницы, мм.

2.4.3 Требования к подкреплению кромки в районе вырезов и кромок книц

2.4.3.1 Высота стенки ребра жесткости, d_w, для подкрепления кромки в районе вырезов и кромок кницы не должна быть меньше, чем:

$$d_w = Cl_{stf}\sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{235}}$$ мм, или 50 мм, в зависимости от того, что больше,

где l_{stf} длина ребра жесткости между опорами, мм;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;
C коэффициент податливости:
75 для концевых книц;
50 для триппинг бракет;
50 для подкреплений кромки в районе вырезов.

2.4.3.2 Толщина нетто стенки и фланца концевой кницы не должна быть меньше, чем указано в *2.2.1*.

3 Требования к устойчивости

3.1 Общие положения

3.1.1 Область применения

3.1.1.1 Настоящий подраздел содержит методы для определения потенциальной устойчивости при продольном изгибе, определения коэффициентов запаса по устойчивости и другие меры, необходимые для контроля потери устойчивости листовых панелей, ребер жесткости и главных несущих элементов.

3.1.1.2 Коэффициент запаса по устойчивости, η, должен удовлетворять следующим критериям:

$\eta \le \eta_{allow}$,

где η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости, как определено в *разделе 8* и *разделе 9*;
η коэффициент запаса по устойчивости, как определено в *3.2.1.1, 3.3.2.2, 3.3.3.1, 3.4.1.1* и *3.5.1.1*.

3.1.1.3 Для конструктивной идеализации и определений см. также *раздел 4/2*. Толщина и свойства сечения листов и ребер жесткости должны приниматься согласно соответствующим требованиям Правил.

3.2 Устойчивость листов

3.2.1 Одноосная устойчивость листов

3.2.1.1 Коэффициент запаса по устойчивости, η, для одноосного напряжения должен приниматься следующим:

$$\eta = \frac{\sigma_x}{\sigma_{xcr}}$$ для сжимающих напряжений в направлении x;

$\eta = \dfrac{\sigma_y}{\sigma_{ycr}}$ для сжимающих напряжений в направлении *y*;

$\eta = \dfrac{\tau}{\tau_{cr}}$ для срезывающих напряжений,

где σ_x, σ_y фактические сжимающие напряжения, Н/мм^2;
τ фактическое срезывающее напряжение, Н/мм^2;
σ_{xcr}, σ_{ycr} критическое сжимающее напряжение, Н/мм^2, как определено в *3.2.1.3*;
τ_{cr} критическое срезывающее напряжение, Н/мм^2, как определено в *3.2.1.3*.

3.2.1.2 Исходная степень гибкости должна приниматься следующей:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{K\sigma_E}},$$

где K коэффициент устойчивости, см. *табл. 10.3.1*;
σ_E теоретическое напряжение, Н/мм^2

$$= 0{,}9E\left(\frac{t_{net}}{l_a}\right)^2;$$

E модуль упругости, 206 000 Н/мм^2;
t_{net} толщина нетто листовой панели, мм;
l_a длина стороны листовой панели, как определено в *табл. 10.3.1*, мм;
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.2.1.3 Критические напряжения,σ_{xcr}, σ_{ycr} или τ_{cr} листовых панелей, подвергающихся сжатию или срезу, соответственно, должны приниматься как указано ниже:

$\sigma_{xcr} = C_x \sigma_{yd}$;

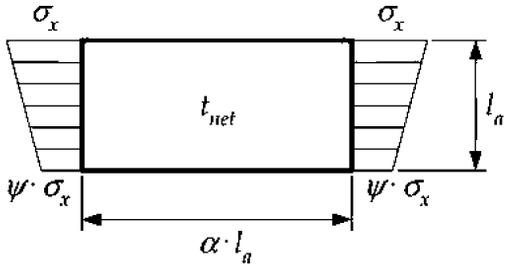
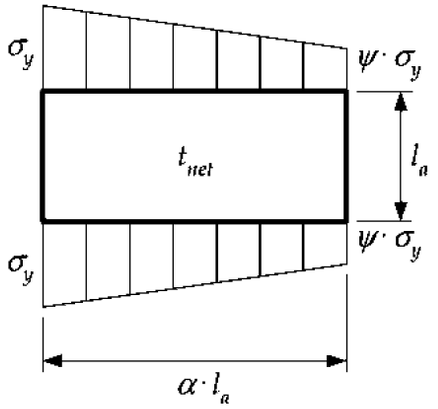
$\sigma_{ycr} = C_y \sigma_{yd}$;

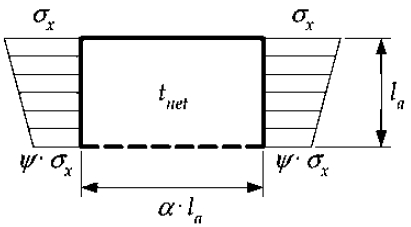
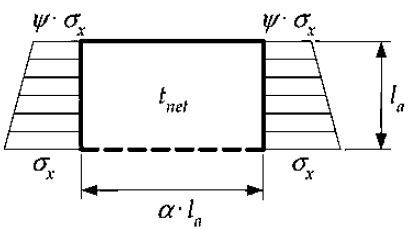
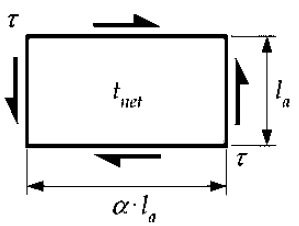
$\tau_{cr} = C_r \dfrac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$,

где C_x, C_y, C_τ редукционные коэффициенты, как указано в *табл. 10.3.1*.

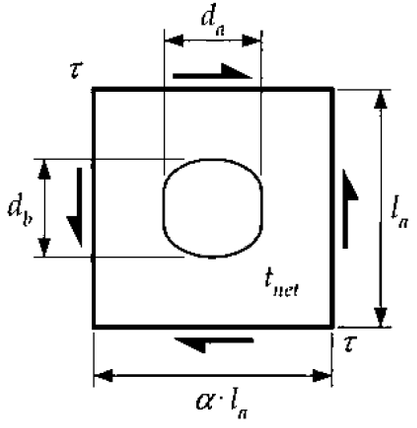
Таблица 10.3.1

Коэффициент устойчивости и редукционный коэффициент для плоских листовых панелей

Случай	Коэффициент неравномерности сжатия ψ	Отношение длины к ширине α	Коэффициент устойчивости K	Редукционный коэффициент
1	2	3	4	5
	$1 \ge \psi \ge 0$	$\alpha > 1$	$K = \dfrac{84}{\psi + 1{,}1}$	$C_x = 1$ для $\lambda \le \lambda_c$ $C_x = c\left(\dfrac{1}{\lambda} - \dfrac{0{,}22}{\lambda^2}\right)$ для $\lambda > \lambda_c$, где $c = (1{,}25 - 0{,}12\,\psi) \le 1{,}25$ $\lambda_c = \dfrac{c}{2}\left(1 + \sqrt{1 - \dfrac{0{,}88}{c}}\right)$
	$0 > \psi > -1$		$K = 7{,}63 - \psi(6{,}26 - 10\,\psi)$	
	$\psi \le -1$		$K = 5{,}975\,(1 - \psi)^2$	
	$1 \ge \psi \ge 0$	$\alpha \ge 1$	$K = \left(1 + \dfrac{1}{a^2}\right)^2 \dfrac{2{,}1}{(\psi + 1{,}1)}$	$C_y = c\left(\dfrac{1}{\lambda} - \dfrac{R + F^2(H - R)}{\lambda^2}\right)$, где $c = (1{,}25 - 0{,}12\,\psi) \le 1{,}25$ $R = \lambda\,(1 - \lambda/c)$ для $\lambda < \lambda_c$ $R = 0{,}22$ для $\lambda \ge \lambda_c$ $\lambda_c = 0{,}5\,c\,(1 + \sqrt{1 - 0{,}88/c})$ $F = \left(1 - \left(\dfrac{K}{0{,}91} - 1\right) / \lambda_p^2\right) c_1 \ge 0$ $\lambda_p^2 = \lambda^2 - 0{,}5$ для $1 \le \lambda_p^2 \le 3$ $c_1 = 1$ для σ_y вследствие непосредственных нагрузок (3) $c_1 = (1 - 1/a) \ge 0$ для σ_y вследствие изгиба (общего) (2) $c_1 = 0$ для σ_y вследствие изгиба в крайних случаях нагрузки (например, водонепроницаемые переборки)
	$0 > \psi > -1$	$1 \le \alpha \le 1{,}5$	$K = \left(1 + \dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2 \dfrac{2{,}1\,(1 + \psi)}{1{,}1} - \dfrac{\psi}{\alpha^2}(13{,}9 - 10\,\psi)$	
		$\alpha > 1{,}5$	$K = \left(1 + \dfrac{1}{\alpha^2}\right)^2 \dfrac{2{,}1\,(1 + \psi)}{1{,}1} - \dfrac{\psi}{a^2}(5{,}87 + 1{,}87\,a^2 + \dfrac{8{,}6}{a^2} - 10\,\psi)$	
	$\psi \le -1$	$1 \le \alpha \le \dfrac{3\,(1 - \psi)}{4}$	$K = \left(\dfrac{1 - \psi}{a}\right)^2 5{,}975$	
		$\alpha > \dfrac{3\,(1 - \psi)}{4}$	$K = \left(\dfrac{1 - \psi}{\alpha}\right)^2 3{,}9675 + 0{,}5375\left(\dfrac{1 - \psi}{\alpha}\right)^4 + 1{,}87$	

1	2	3	4	5
				$H = \lambda - \dfrac{2\lambda}{c(T + \sqrt{T^2 - 4}} \geq R$ $T = \lambda + \dfrac{14}{15\lambda} + \dfrac{1}{3}$
	$1 \geq \psi \geq 0$	$\alpha > 0$	$K = \dfrac{4(0{,}425 + 1/\alpha^2)}{3\psi + 1}$	$C_x = 1$ для $\lambda \leq 0{,}7$ $C_x = \dfrac{0{,}84}{\lambda^2 + 0{,}51}$ для $\lambda > 0{,}7$
	$0 > \psi \geq -1$		$K = 4(0{,}425 + 1/\alpha^2)(1 + \psi) - 5\psi(1 - 3{,}42\psi)$	
	$1 \geq \psi \geq -1$	$\alpha > 0$	$K = \left(0{,}425 + \dfrac{1}{\alpha^2}\right)\dfrac{3 - \psi}{2}$	
			$K = K_\tau \sqrt{3}$	
		$\alpha \geq 1$	$K_\tau = \left[5{,}34 + \dfrac{4}{\alpha^2}\right]$	

Продолжение табл. 10.3.1

1	2	3	4	5
		$0 < \alpha < 1$	$K_\tau = \left[4 + \frac{5{,}34}{\alpha^2}\right]$	
	–		$K = K'r$ K' = K согласно случаю 5 r = редукционный коэффициент выреза $r = \left(1 - \frac{d_a}{a\,l_a}\right)\left(1 - \frac{d_b}{l_a}\right)$ $\frac{d_a}{a\,l_a} \le 0{,}7$ и $\frac{d_b}{l_a} \le 0{,}7$	$C_\tau = 1$ для $\lambda \le 0{,}84$ $C_\tau = \frac{0{,}84}{\lambda}$ для $\lambda > 0{,}84$

где φ коэффициент неравности сжатия самого малого и самого большого напряжением как показано для случаев 1-4;
l_a длина, мм, более короткой стороны листовой панели для случаев 1 и 2;
l_a длина, мм, стороны листовой панели, как определено для случаев 3, 4, 5 и 6;
a отношение длины листовой панели к ширине.

Граничные условия кромки:

---------- – свободная кромка листа;

_____ – кромка листа свободно оперта.

Примечание

1. Указанные случаи являются общими случаями. Каждая составляющая напряжений ($\sigma_ч$, σ_y) должна считаться в локальных координатах.

2. c_1 вследствие изгиба (общего) соответствует прямой кромке (равномерное смещение) листовой панели, встроенной в крупную конструкцию. Эта величина должна применяться для устойчивости эквивалентного бруса и устойчивости стенки главных несущих элементов в районе отверстий.

3. c_1 для непосредственных нагрузок соответствует листовой панели с кромками незакрепленными от смещения, что может привести к непрямым кромкам.

3.3 Устойчивость ребер жесткости

3.3.1 Критическое сжимающее напряжение

3.3.1.1 Коэффициент запаса по устойчивости ребер жесткости должен приниматься максимальным из осевой и боковой составляющих, как указано в *3.3.2* и *3.3.3*.

3.3.2 Осевая устойчивость

3.3.2.1 Ребра жесткости должны проверяться в режиме осевой устойчивости, как указано в *3.3.2.2* при допустимом коэффициенте запаса по устойчивости, η_{allow}, см. *3.1.1.2*. Ребра жесткости, неподвергающиеся действию бокового давления и которые имеют момент нетто инерции, I_{net}, соответствующий *3.3.2.4*, имеют приемлемую осевую устойчивость и могут не проверяться по *3.3.2.2*.

3.3.2.2 Коэффициент запаса по устойчивости для осевой устойчивости ребер жесткости должен быть равным:

$$\eta = \frac{\sigma_x + \sigma_b}{\sigma_{yd}},$$

где σ_x сжимающее осевое напряжение в ребре жесткости, Н/мм^2, в районе середины пролета ребра жесткости. См. *раздел 3/5.2.3.1*;

σ_b напряжение изгиба в середине пролета ребра жесткости в соответствии с *3.3.2.3*, Н/мм^2;

σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.3.2.3 Напряжение изгиба, σ_b, Н/мм^2, в ребре жесткости равно:

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{1000\, Z_{net}},$$

где Z_{net} момент нетто сопротивления ребра жесткости, см^3, включая ширину листа согласно *3.3.4.1*;

а) если боковое давление приложено к ребру жесткости:

Z_{net} момент сопротивления, рассчитанный на фланце, если боковое давление приложено к той же стороне, где находится ребро жесткости;

Z_{net} момент сопротивления, рассчитанный на присоединенном пояске, если боковое давление приложено к стороне, противоположной ребру жесткости;

б) если к ребру жесткости не приложено боковое давление:

Z_{net} минимальный момент сопротивления среди рассчитанных на фланце и присоединенном пояске;

M_1 изгибающий момент, Нмм, вызванный боковой нагрузкой P

$$= \frac{P s l_{stf}^2}{24} 10^3;$$

P боковая нагрузка, кН/м^2;

s расстояние между ребрами жесткости, как определено в *разделе 4/2.2.1*, мм;

l_{stf} пролет ребра жесткости, м, равный расстоянию между главными несущими элементами;

M_0 изгибающий момент, Нмм, вызванный боковой деформацией, w, ребра жесткости

$$= F_E\left(\frac{P_z w}{c_f - P_z}\right), \quad \text{где } (c_f - P_z) > 0;$$

F_E идеальная упругая эйлерова сила ребра жесткости, Н

$$= \left(\frac{\pi^2}{l_{stf}^2}\right) E I_{net} 10^{-2};$$

E модуль упругости, 206000 Н/мм^2;

I_{net} момент инерции, см^4, ребра жесткости, включая эффективную ширину присоединенного пояска согласно *3.3.4.1*. I_{net} должен удовлетворять следующему требованию:

$$I_{net} \geq \frac{s t_{net}^3}{12} 10^{-4};$$

t_{net} толщина нетто отогнутой кромки листа, которая должна приниматься как средняя толщина двух присоединенных поясков, мм;

P_z номинальная боковая нагрузка, Н/мм^2, действующая на ребро жесткости вследствие мембранных напряжений σ_x, σ_y и τ_1 в присоединенном пояске в районе середины пролета ребра жесткости:

$$= \frac{t_{net}}{s}\left(\sigma_{xl}\left(\frac{\pi s}{1000\, l_{stf}}\right)^2 + 2\, c_y \sigma_y + \sqrt{2}\,\tau_1\right);$$

$$\sigma_{xl} = \sigma_x \left(1 + \frac{A_{net}}{s\, t_{net}}\right) \text{ Н/мм}^2;$$

$$\tau_1 = \left[\tau - t_{net}\sqrt{\sigma_{yd} E\left(\frac{m_1}{(1000\, l_{stf})^2} + \frac{m_2}{s^2}\right)}\right] \geq 0$$

при m_1 и m_2, принимаемых равными

m_1 =1,47 m_2 = 0,49 для $\dfrac{1000\, l_{stf}}{s} \geq 2{,}0$;

m_1 = 1,96 m_2 = 0,37 для $\dfrac{1000\, l_{stf}}{s} < 2{,}0$

σ_x сжимающее осевое напряжение в ребре жесткости, Н/мм^2, в районе середины пролета ребра жесткости. Оно должно приниматься как среднее осевое напряжение, действующее на следующий участок:
$A_{net} + s\, t_{net}$;

A_{net} площадь нетто поперечного сечения ребра жесткости без присоединенного пояска, в мм^2;

c_y коэффициент, учитывающий мембранные напряжения в присоединенном пояске, действующие перпендикулярно оси ребра жесткости
= 0,5 (1 + ψ) для $0 \leq \psi \leq 1$;
$= \dfrac{0{,}5}{1 - \psi}$ для $\psi < 0$;

φ коэффициент неравномерности сжатия по кромкам пластины для случая 2 согласно *табл. 10.3.1*;

σ_y мембранное сжимающее напряжение в присоединенном пояске, действующее перпендикулярно оси ребра жесткости, Н/м^2;

τ срезывающее мембранное напряжение в присоединенном пояске, Н/мм^2;

σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

w деформация ребра жесткости, мм
$= w_0 + w_1$;

w_0 допускаемый дефект, мм

$$= \min\left[\frac{1000\, l_{stf}}{250}, \frac{s}{250}, 10\right].$$

Для ребер жесткости, срезанных на ус на обоих концах, w_0 не должно приниматься меньше, чем расстояние от середины присоединенного пояска до нейтральной оси ребра жесткости, рассчитанное при эффективной ширине присоединенного пояска согласно *3.3.4.1*;

w_1 деформация ребра жесткости в середине пролета ребра жесткости, вызванная боковой нагрузкой P, мм. В случае равномерно распределенной нагрузки w_1 должно приниматься равным:

$$= \frac{P s l_{stf}^4}{384 \times E I_{net}} 10^5;$$

c_f упругая опора, обеспечиваемая ребром жесткости, Н/мм^2

$$= F_E \frac{\pi^2}{l_{stf}^2}(1 + c_p) 10^{-6};$$

$$c_p = \frac{1}{1 + \dfrac{0{,}91}{c_a}\left(\dfrac{12 I_{net} 10^4}{s\, t_{net}^3} - 1\right)};$$

$$c_a = \left[\frac{1000\, l_{stf}}{2s} + \frac{2s}{1000\, l_{stf}}\right]^2 \text{ для } l_{stf} \geq \frac{2s}{1000};$$

$$c_a = \left[1 + \left(\frac{1000\, l_{stf}}{2s}\right)^2\right]^2 \text{ для } l_{stf} < \frac{2s}{1000}.$$

3.3.2.4 Ребра жесткости, неподвергающиеся воздействию бокового давления, рассматриваются как удовлетворяющие требованиям *3.3.2.2*, если их момент нетто инерции, см^4, удовлетворяет следующему требованию:

$$I_{net} \geq 100 \frac{P_z l_{stf}^2}{\pi^2} \left[\frac{w_0 (e_f - 0{,}5 t_{f\text{-}net})}{\eta_{allow} \sigma_{yd} - \sigma_x} + \frac{l_{stf}^2}{E\pi^2} 10^6 \right],$$

где e_f расстояние от соединения с листом (*C*, как показано на *рис. 10.3.1*) до центра фланца, мм
$= (d_w - 0{,}5 t_{f\text{-}net})$ для полособульбов;
$= (d_w + 0{,}5 t_{f\text{-}net})$ для уголков и тавровых профилей;
d_w высота стенки, мм, как показано на *рис. 10.3.1*;
$t_{f\text{-}net}$ толщина нетто фланца, мм;
η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости, как определено в *разделах 8* и *9*.

Примечание
Прочие параметры, как определено в *3.3.2.3*.

3.3.3 Боковая устойчивость

3.3.3.1 Боковая устойчивость должна проверяться по допустимому коэффициенту запаса по устойчивости, η_{allow}, см. *3.1.1.2*. Коэффициент запаса по устойчивости для боковой устойчивости ребер жесткости должен рассчитываться следующим образом:

$$\eta = \frac{\sigma_x}{C_T \sigma_{yd}},$$

где σ_x сжимающее осевое напряжение в ребре жесткости, Н/мм^2, согласно *3.3.2.1*;
C_T коэффициент боковой устойчивости
$= 1{,}0$ для $\lambda_T \leq 0{,}2$;
$= \dfrac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$ для $\lambda_T > 0{,}2$;
$\Phi = 0{,}5 (1 + 0{,}21 (\lambda_T - 0{,}2) + \lambda_T^2)$;
λ_T исходная степень податливости для боковой устойчивости

$$= \sqrt{\frac{\sigma_{yd}}{\sigma_{ET}}};$$

σ_{ET} исходная напряжение для боковой устойчивости, Н/мм^2

$$= \frac{E}{I_{p\text{-}net}} \left(\frac{\varepsilon \pi^2 I_{\omega\text{-}net} 10^{-4}}{l_t^2} + 0{,}385 I_{T\text{-}net} \right)$$ для $I_{P\text{-}net}$, $I_{T\text{-}net}$, $I_{w\text{-}net}$ см. *рис. 10.3.1* и *табл. 10.3.2*;

σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;
E модуль упругости, 206000 Н/мм^2;
$I_{P\text{-}net}$ полярный момент нетто инерции ребра жесткости относительно точки *C*, как показано на *рис. 10.3.1*, см^4;
$I_{T\text{-}net}$ момент нетто инерции по Сен-Венану ребра жесткости, см^4;
$I_{w\text{-}net}$ секториальный момент нетто инерции ребра жесткости относительно точки *C*, как показано на *рис. 10.3.1*, см^6;
ε степень закрепления

$$= 1 + 100 \sqrt{\frac{l_t^4}{I_{\omega\text{-}net} \left(\dfrac{s}{t_{net}^3} + \dfrac{4 (e_f - 0{,}5 t_{f\text{-}net})}{3 t_{w\text{-}net}^3} \right)}};$$

l_t длина боковой устойчивости, которая должна приниматься равной расстоянию между тришинг опорами, м;
d_w высота стенки, мм;
$t_{w\text{-}net}$ толщина нетто стенки, мм;
b_f ширина фланца, мм;
$t_{f\text{-}net}$ толщина нетто фланца, мм;
e_f расстояние от соединения с листом (*C* на *рис. 10.3.1*) до центра фланца, мм

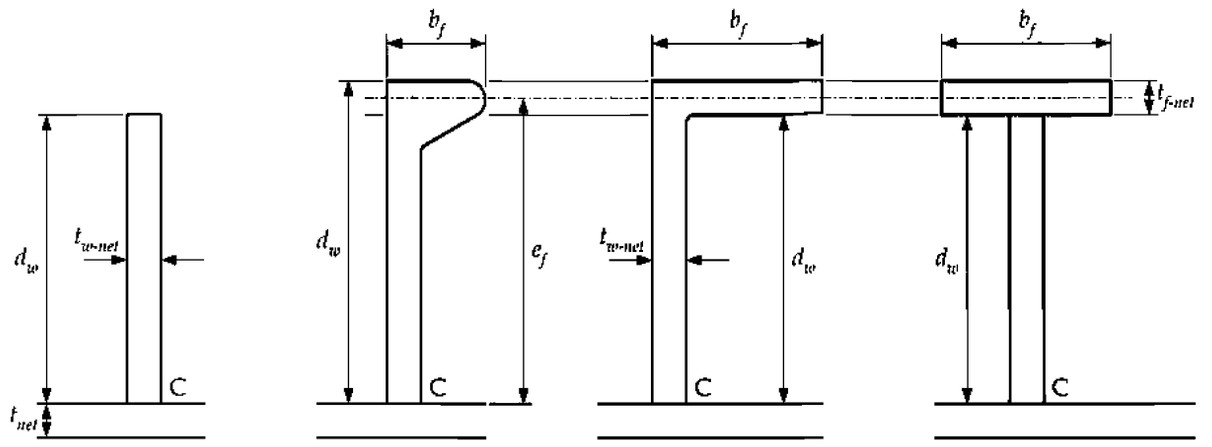
$= (d_w - 0{,}5t_{f\text{-}net})$ для полособульбов;
$= (d_w + 0{,}5t_{f\text{-}net})$ для уголков и тавровых профилей;

$A_{w\text{-}net}$ площадь нетто стенки, мм^2
$= (e_f - 0{,}5t_{f\text{-}net})t_{w\text{-}net}$;

$A_{f\text{-}net}$ площадь нетто фланца, мм^2
$= b_f t_{f\text{-}net}$;

s расстояние между ребрами жесткости, как определено в *разделе 4/2.2.1*, мм.

Рис. 10.3.1
Поперечные сечения ребер жесткости



Примечание
1. Замеры ширины и высоты основываются на полных размерах, как описано в *разделе 4/2.4.1.2.*
2. Характерные данные по фланцу полособульб приведены в *табл. 4.2.3 и 4.2.4.*

Таблица 10.3.2

Моменты инерции

Свойства сечения	**Полосы**	**Полособульбы, уголки и тавровые профили**
$I_{P\text{-}net}$	$\dfrac{d_\omega^3 t_{\omega\text{-}net}}{3\times 10^4}$	$\left(\dfrac{A_{\omega\text{-}net}(e_f - 0{,}5t_{f\text{-}net})^2}{3} + A_{f\text{-}net}e_f^2\right)10^{-4}$
$I_{T\text{-}net}$	$\dfrac{d_\omega t_{\omega\text{-}net}^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0{,}63\dfrac{t_{\omega\text{-}net}}{d_\omega}\right)$	$\dfrac{(e_f - 0{,}5t_{f\text{-}net})t_{\omega\text{-}net}^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0{,}63\dfrac{t_{f\text{-}net}}{e_f - 0{,}5t_{f\text{-}net}}\right) + \dfrac{b_f t_{f\text{-}net}^3}{3\times 10^4}\left(1 - 0{,}63\dfrac{t_{f\text{-}net}}{b_f}\right)$
$I_{w\text{-}net}$	$\dfrac{d_\omega^3 t_{\omega\text{-}net}^3}{36\times 10^6}$	для полособульбов и уголков: $\dfrac{A_{f\text{-}net}e_f^2 b_f^2}{12\times 10^6}\left(\dfrac{A_{f\text{-}net} + 2{,}6A_{\omega\text{-}net}}{A_{f\text{-}net} + A_{\omega\text{-}net}}\right)$ для тавровых профилей $\dfrac{b_f^3 t_{f\text{-}net}e_f^2}{12\times 10^6}$

3.3.4 Эффективная ширина присоединенного пояска

3.3.4.1 Эффективная ширина присоединенного пояска обычных ребер жесткости должна определяться по формуле:

$$b_{eff} = \min (C_x s, \chi_s s),$$

где $\chi_s = 0{,}0035 \left(\frac{1000\, l_{stf}}{s}\right)^3 - 0{,}0673 \left(\frac{1000\, l_{stf}}{s}\right)^2 + 0{,}4422 \left(\frac{1000\, l_{stf}}{s}\right) - 0{,}0056 \leq 1{,}0;$

s расстояние между ребрами жесткости, как определено в *разделе 4/2.2.1*, мм;

C_x средний редукционный коэффициент по устойчивости двух присоединенных листовых панелей, согласно случаю 1 в *табл. 10.3.1*;

l_{stf} пролет ребра жесткости, м, равный расстоянию между главными несущими элементами.

3.4 Главные несущие элементы

3.4.1 Устойчивость стенки главных несущих элементов в районе вырезов

3.4.1.1 Стенка главных несущих элементов с вырезами должна оцениваться на потерю прочности, основываясь на комбинированных сжимающих и срезывающих напряжениях. Стенка, примыкающая к вырезу с обеих сторон, должна рассматриваться как индивидуальные неподкрепленные листовые панели, как указано в *табл. 10.3.3*. Коэффициент запаса по устойчивости, η, должен рассчитываться следующим образом:

$$\eta = \left(\frac{|\sigma_{av}|}{C\sigma_{yd}}\right)^e + \left(\frac{|\tau_{av}|\sqrt{3}}{C_\tau \sigma_{yd}}\right)^{e_\tau},$$

где σ_{av} среднее сжимающее напряжение в рассматриваемом участке стенки согласно случаю *1*, *2* или *3* в *табл. 10.3.1*, Н/мм^2;

τ_{av} среднее срезывающее напряжение в рассматриваемом участке стенки согласно случаю *5* или *6* *табл. 10.3.1*, Н/мм^2;

σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

$e = 1 + C^4$ экспонент для сжимающего напряжения;

$e_\tau = 1 + CC_\tau^2$ экспонент для касательного напряжения;

$C = C_x$ редукционный коэффициент согласно случаю 1 или 3, *табл. 10.3.1*;

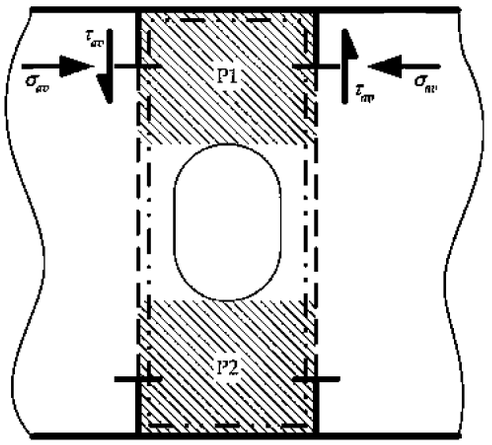
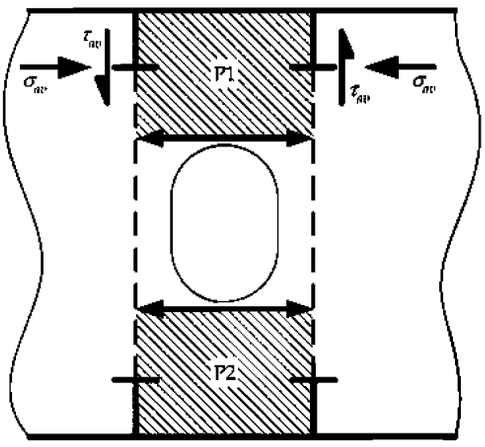
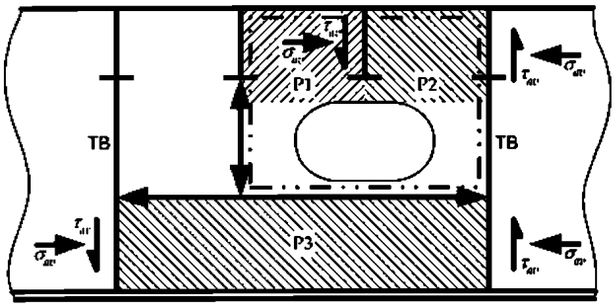
$C = C_y$ редукционный коэффициент согласно случаю 2, *табл. 10.3.1*;

C_τ редукционный коэффициент согласно случаю 5 или 6, *табл. 10.3.1*.

3.4.1.2 Редукционные коэффициенты, C_x или C_y в сочетании с C_τ листовой панели(панелей) стенки, примыкающей к вырезу, должны приниматься как показано в *табл. 10.3.3*.

Таблица 10.3.3

Редукционные коэффициенты

Вид	$C_x C_y$	C_τ
(а) без подкреплений кромки 	Отдельные редукционные коэффициенты должны использоваться для участков P1 и P2 при использовании случая 3, *табл. 10.3.1*, коэффициент неравномерности сжатия у кромки φ =1,0	Общий редукционный коэффициент должен применяться для участков P1 и P2 при использовании случая 6, *табл. 10.3.1* для участка, обозначенного: 
(б) с подкреплениями кромки 	Отдельные редукционные коэффициенты должны применяться для участков P1 и P2 при использовании: C_x для случая 1 или C_y для случая 2, см. *табл. 10.3.1* при коэффициенте коэффициент неравномерности сжатия φ=1,0	Отдельные редукционные коэффициенты должны применяться для участков P1 и P2 при использовании случая 5, *табл. 10.3.1*
(в) пример отверстия в стенке 	Панели P1 и P2 должны оцениваться в соответствии с (а). Панель P3 должна оцениваться в соответствии с (б)	

Примечание

1. Стенки, которые должны рассматриваться на предмет устойчивости в районе отверстий, показаны заштрихованными и пронумерованными P1, P2 и т.д.

3.5 Прочие конструкции

3.5.1 Стойки, пиллерсы и распорки

3.5.1.1 Критическое напряжение устойчивости сжатых аксиально стоек, пиллерсов и распорок должно приниматься как меньшее из критических напряжений при осевой и боковой устойчивости. Коэффициент запаса по устойчивости, η, должен приниматься равным:

$$\eta = \frac{\sigma_{av}}{\sigma_{cr}},$$

где σ_{av} среднее осевое сжимающее напряжение в элементе, Н/мм^2;
σ_{cr} минимальное критическое напряжение при устойчивости согласно *3.5.1.2*, Н/мм^2.

3.5.1.2 Критическое напряжение при устойчивости в условиях сжатия, σ_{cr}, для каждого режима должно приниматься как:

$$\sigma_{cr} = \sigma_E \qquad \text{для } \sigma_E \le 0{,}5\sigma_{yd};$$

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{\sigma_{yd}}{4\sigma_E}\right)\sigma_{yd} \qquad \text{для } \sigma_E > 0{,}5\sigma_{yd},$$

где σ_E сжимающее напряжение при устойчивости в упругой области, Н/мм^2, задаваемое для каждого режима устойчивости, см. *3.5.1.3 – 3.5.1.5;*
σ_{yd} спецификационный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.5.1.3 Сжимающее напряжение при потере устойчивости в упругой области, σ_E, пиллерсов, подвергающихся осевому сжатию, должно вычисляться следующим образом:

$$\sigma_E = 0{,}001 E f_{end} \frac{I_{net50}}{A_{pill-net50} l_{pill}^{\ 2}} \text{ Н/мм}^2,$$

где I_{net50} момент нетто инерции относительно самой слабой оси поперечного сечения, в см^4;
$A_{pill\text{-}net50}$ площадь нетто поперечного сечения пиллерса, в см^2;
f_{end} коэффициент заделки концов:
1,0, когда оба конца закреплены на штифтах;
2, 0, когда один конец закреплен на штифте, а другой конец жестко закреплен;
4,0, когда оба конца жестко закреплены;
Конец пиллерса может считаться жестко закрепленным, когда установлены эффективные кницы. Эти кницы должны поддерживаться конструктивными связями с большей жесткостью на изгиб, чем пиллерс;
E модуль упругости, 206000, Н/мм^2;
l_{pill} неподкрепленная длина пиллерса, м.

3.5.1.4 Напряжение при боковой устойчивости в упругой области, σ_{ET}, с учетом осевого сжатия пиллерсов, должна определяться следующим образом:

$$\sigma_{ET} = \frac{G I_{sv-net50}}{I_{pol-net50}} + \frac{0{,}001 f_{end} E c_{warp}}{I_{pol-net50} l_{pill}^{\ 2}} \text{ Н/мм}^2,$$

где G модуль сдвига

$$= \frac{E}{2(1+\upsilon)};$$

E модуль упругости, 206000, Н/мм^2;
υ коэффициент Пуассона, 0,3;
$I_{sv\text{-}net50}$ эффективный момент нетто инерции по Сен-Венану, см^4, см. *табл. 10.3.4*;
$I_{pol\text{-}net50}$ эффективный полярный момент нетто инерции относительно центра жесткости поперечного сечения, см^4
$= I_{y-net50} + I_{z-net50} + A_{net50}(y_0^2 + z_0^2)$;
f_{end} коэффициент заделки концов
1,0, когда оба конца закреплены на штифтах;
2,0, когда один конец закреплен на штифте, а другой конец жестко заделан;
4,0, когда оба конца жестко заделаны;
c_{warp} постоянная депланации, см^6, см. *табл. 10.3.4*;
l_{pill} неподкрепленная длина пиллерса, м;
y_0 положение центра жесткости по отношению к центру тяжести поперечного сечения, см, см. *табл. 10.3.4*;
z_0 положение центра жесткости по отношению к центру тяжести поперечного сечения, см, см. *табл. 10.3.4*;
A_{net50} площадь нетто поперечного сечения, см^2;
$I_{y\text{-}net50}$ момент нетто инерции относительно оси y, см^4;
$I_{z\text{-}net50}$ момент нетто инерции относительно оси x, см^4.

3.5.1.5 Для поперечных сечений, где центр тяжести и центр жесткости не совпадают, должно быть рассмотрено взаимодействие осевой и боковой устойчивости. Напряжение при потере устойчивости в условии скручивания/сжатия в упругой области, σ_{ETF}, с учетом осевого сжатия должно определяться следующим образом:

$$\sigma_{ETF} = \frac{1}{2\zeta}\left[(\sigma_E + \sigma_{ET}) - \sqrt{(\sigma_E + \sigma_{ET})^2 - 4\zeta\sigma_E\sigma_{ET}}\right],$$

где $\zeta = 1 - \dfrac{z_0^2 A_{net50}}{I_{pol\text{-}net50}}$;

z_0 положение центра жесткости по отношению к центру тяжести поперечного сечения, см, см. *табл. 10.3.4*;

A_{net50} площадь нетто поперечного сечения, см^2;

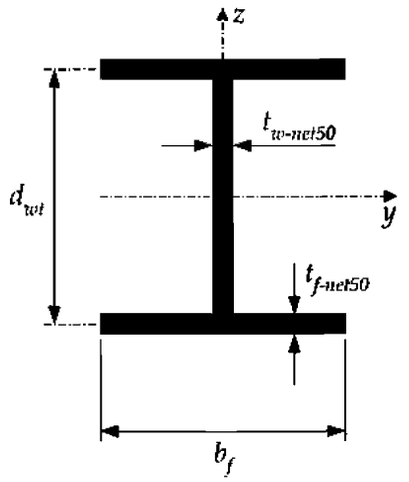
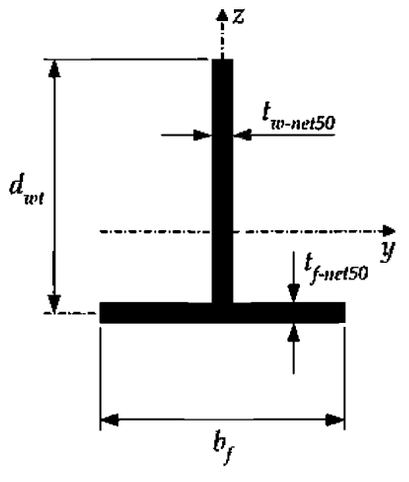
$I_{pol\text{-}net50}$ полярный момент нетто инерции относительно центра жесткости поперечного сечения, как определено в *3.5.1.4*;

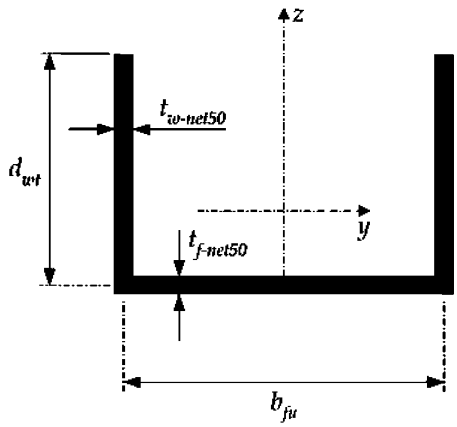
σ_{ET} напряжение при боковой устойчивости в упругой области, как определено в *3.5.1.4*;

σ_E напряжение при осевой устойчивости в упругой области, как определено в *3.5.1.3*.

Таблица 10.3.4

Характеристики поперечного сечения

двухсимметричные профили	
	$I_{sv\text{-}net50} = \dfrac{1}{3}\left(2b_f t_{f\text{-}net50}^3 + d_{wt} t_{w\text{-}net50}^3\right)10^{-4}$ см^4
	$c_{warp} = \dfrac{d_{wt}^2 b_f^3 t_{f\text{-}net50}}{24}10^{-6}$ см^6
односимметричные профили	
	$I_{sv\text{-}net50} = \dfrac{1}{3}\left(b_f t_{f\text{-}net50}^3 + d_{wt} t_{w\text{-}net50}^3\right)10^{-4}$ см^4
	$y_0 = 0$ см $z_0 = -\dfrac{0{,}5 d_{wt}^2 t_{w\text{-}net50}}{d_{wt} t_{w\text{-}net50} + b_f t_{f\text{-}net50}}10^{-1}$ см $c_{warp} = \dfrac{b_f^3 t_{f\text{-}net50}^3 + 4 d_{wt}^3 t_{w\text{-}net50}^3}{144}10^{-6}$ см^6

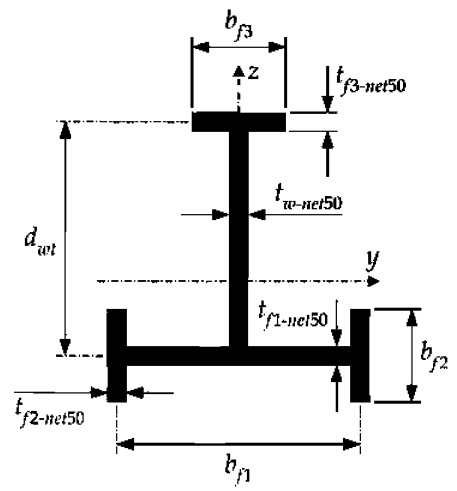


$$I_{sv-net50} = \frac{1}{3}\left(b_{fu}\, t_{f-net50}^3 + 2 d_{wt}\, t_{w-net50}^3\right) 10^{-4} \quad \text{см}^4$$

$$y_0 = 0 \text{ см}$$

$$z_0 = -\frac{d_{wt}^2\, t_{w-net50}\, 10^{-1}}{2 d_{wt}\, t_{w-net50} + b_f\, t_{f-net50}} - \frac{0{,}5\, d_{wt}^2\, t_{w-net50}\, 10^{-1}}{d_{wt}\, t_{w-net50} + b_{fu}\, t_{f-net50}/6} \quad \text{см}$$

$$c_{warp} = \frac{b_{fu}^2\, d_{wt}^3\, t_{w-net50}\,(3 d_{wt}\, t_{w-net50} + 2 b_{fu}\, t_{f-net50})}{12\,(6 d_{wt}\, t_{w-net50} + b_{fu}\, t_{f-net50})} 10^{-6} \quad \text{см}^6$$



$$I_{sv-net50} = \frac{1}{3}\left(b_{f1} t_{f1-net50}^3 + 2 b_{f2} t_{f2-net50}^3 + b_{f3} t_{f3-net50}^3 + d_{wt} t_{w-net50}^3\right) 10^{-4} \quad \text{см}^4$$

$$y_0 = 0 \text{ см}$$

$$z_0 = z_s - \frac{(b_{f3}\, d_{wt}\, t_{f3-net50} + 0{,}5\, d_{wt}^2\, t_{w-net50})\, 10^{-1}}{d_{wt}\, t_{w-net50} + b_{f1}\, t_{f1-net50} + 2 b_{f2}\, t_{f2-net50} + b_{f3}\, t_{f3-net50}} \quad \text{см}$$

$$c_{warp} = \left(I_{f1} z_0^2 + \frac{I_{f2} b_{f1}^2}{2} + I_{f3}(d_{wt} - z_0)^2\right) 10^{-2} \quad \text{см}^6$$

$$I_{f1} = \left(\frac{(b_{f1} - t_{f2-net50})^3\, t_{f1-net50}}{12} + \frac{b_{f2}\, t_{f2-net50}\, b_{f1}^2}{2}\right) 10^{-4} \quad \text{см}^4$$

$$I_{f2} = \frac{b_{f2}^3\, t_{f2-net50}}{12} 10^{-4} \quad \text{см}^4$$

$$I_{f3} = \frac{b_{f3}^3\, t_{f3-net50}}{12} 10^{-4} \quad \text{см}^4$$

$$z_s = \frac{I_{f3}\, d_{wt}}{I_{f1} + I_{f3}} 10^{-1} \quad \text{см}$$

Примечание
Все размеры даны в мм.

3.5.2 Гофрированные переборки

3.5.2.1 Локальная устойчивость единичной кромки гофрированных переборок должна контролироваться согласно *3.2.1.1*, для случая 1, как показано в *табл. 10.3.1* при применении коэффициента неравномерности сжатия $\varphi = 1{,}0$.

3.5.2.2. Общий вид разрушения при устойчивости гофрированных переборок, подвергающихся воздействию осевого сжатия, должен проверяться на осевую устойчивость в режиме сжатия согласно *3.5.1*. Коэффициент заделки концов, соответствующий концам, закрепленным на штифте, должен применяться за исключением опоры с жестко заделанным концом, которая должна использоваться в районе опоры переборки при ширине, превышающей в 2 раза высоту гофра.

4 Анализ устойчивости

4.1 Общие положения

4.1.1 Оценка

4.1.1.1 Для оценки устойчивости листов и подкрепленных панелей, подвергающихся воздействию комбинированных полей напряжений, необходимо пользоваться усовершенствованным методом оценки устойчивости.

4.1.1.2 Усовершенствованный метод оценки устойчивости должен учитывать следующие факторы при определении потенциальной устойчивости при продольном изгибе:

а) нелинейное геометрическое поведение;
б) неупругое поведение материала;
в) первоначальные дефекты (геометрическая неплоскостность листа и ребер жесткости);
г) остаточные сварочные напряжения;
д) взаимодействия между конструктивными элементами: листами, ребрами жесткости, балками и т.п.;
е) одновременное действующие нагрузки; двухосное сжатие/растяжение, сдвиг и боковое давление;
ж) граничные условия.

4.1.1.3 Все факторы должны моделироваться, чтобы представить нижнюю границу прочности конструкции. Форма моделирования и амплитуда геометрических дефектов должны быть такими, чтобы они инициировали наиболее критические виды устойчивости.

4.1.1.4 Прочность при продольном изгибе должна определяться в соответствии с методом, описанном в *приложении D*.

4.1.1.5 Могут использоваться альтернативные усовершенствованные методы анализа устойчивости при условии, что они дают результаты, сравнимые с эталонными результатами, полученными при внедрении усовершенствованной методологии оценки устойчивости, описанные в *приложении D*.

4.1.1.6 Теоретические исходные данные, предположения, модели, проверки, калибровки и т.п. для альтернативного усовершенствованного анализа устойчивости должны быть представлены для рассмотрения и одобрения.

РАЗДЕЛ 11. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1 Конструкции отверстий и закрытий корпуса

1.1 Отверстия в обшивке и палубе

1.1.1 Общие сведения

1.1.1.1 Информацию по закрывающим устройствам для отверстий в надстройках, в боковых и концевых стенках рубок, см. *1.4*. Информацию по переливным отверстиям и вентиляционным отверстиям, впускным и выпускным отверстиям см. *1.5*.

1.1.1.2 Требования к проведению испытаний см. *подраздел 5*.

1.1.2 Люки грузовых танков – материалы

1.1.2.1 Крышки люков доступа для мойки танков и прочих отверстий грузовых танков и прилежащих отсеков должны быть изготовлены из материала, соответствующего следующим требованиям:

а) сталь нормальной прочности в соответствии с *разделом 6/1*;
б) могут рассматриваться цветные металлы, такие как бронза или латунь, однако, для крышек каких-либо отверстий в грузовых танках и прилегающих отсеках не следует использовать алюминиевые сплавы;
в) также могут рассматриваться синтетические материалы, принимая во внимание их огнестойкость и физико-химические свойства в соотношении с планируемыми условиями эксплуатации. Подробная информация о свойствах материала, конструкции крышки и методике изготовления должна быть представлены на одобрение.

1.1.2.2 Материал уплотнений крышек люков должен быть совместим с грузами, которые предполагается перевозить, и должен быть эффективно закреплен на штатном месте.

1.1.3 Комингсы люков доступа в грузовые танки

1.1.3.1 Высота комингса над верхней поверхностью палубы надводного борта должна составлять не менее 600 мм. Администрацией государства флага могут быть допущены меньшие высоты. Вершина комингса люка также не должна быть ниже, чем наивысшая точка танка, на котором он установлен, и должна являться достаточной высотой с точки зрения аварийной остойчивости.

1.1.3.2 Построечная толщина листа, из которого изготовлен комингс, не должна быть менее 10 мм. В случае, когда фактическая высота установленного комингса превышает 600 мм, может потребоваться увеличение толщины либо подкрепление кромки. Также могут возникнуть дополнительные требования к размерам связей листов, из которых изготовлены комингсы доступа в танки, охватывающие площадь в 1,2 м² или более, и/или к тем, конфигурация которых отличается от идеально округлой формы.

1.1.4 Крышки люков доступа в грузовые танки

1.1.4.1 Построечная толщина крышек, изготовленных из неподкрепленного листа, площадью менее 1,2 м² не должна составлять менее 12,5 мм. Построечную толщину крышек большей площади потребуется увеличить, или установить подкрепление крышки.

1.1.4.2 Плоские и неподкрепленные крышки на круглых люках должны фиксироваться крепежными элементами, расстояние между которыми не должно превышать 600 мм.

1.1.4.3 Расстояние между крепежными элементами на прямоугольных люках в общем случае не должно превышать 450 мм, а расстояние между углами люка и смежными крепежными элементами не должно составлять более 230 мм.

1.1.4.4 Требования, приведенные в *1.1.4.1 – 1.1.4.3*, не распространяются на выпуклые крышки либо крышки другой специально утвержденной конструкции.

1.1.4.5 В случае, если крышка имеет шарнирное закрепление, необходимо обеспечить соответствующее подкрепление комингса и крышки в области расположения шарнира. В целом шарниры не должны рассматриваться в качестве фиксирующих приспособлений для крышки и должны проектироваться таким образом, чтобы предотвращать избыточное затягивание прокладки.

1.1.5 Лазы для доступа к оборудованию машинного отделения – защита

1.1.5.1 Машинные шахты в общем случае должны обеспечиваться защитой с помощью выгородки или мостика, либо же с помощью конструкции палубной рубки, соответствующей требованиям по устойчивости, приведенным в *1.4*.

1.1.5.2 В случае, когда судно предназначено для эксплуатации при высоте надводного борта, разрешенной *Международной конвенцией о грузовой марке* для судов с избыточным надводным бортом типа А, высота такой конструкции должна составлять не менее 2,3 м. Переборки на передних концах таких конструкций должны иметь размеры связей как минимум эквивалентные требуемым для передних переборок мостиков, см. *1.4.9* и *1.4.13*.

1.1.6 Люки малых размеров, расположенные в носовой оконечности судна

1.1.6.1 Отверстия, ведущие в носовые отсеки судна, в соответствии с *1.1.6.2* должны соответствовать требованиям, приведенным в *1.1.6.3 – 1.1.6.14*.

1.1.6.2 Данные требования касаются люков малых размеров (как правило, отверстия площадью 2,5 м² или менее) на открытой палубе, расположенных в пределах 0,25L от передней переборки и на высоте менее 0,1L, или 22 м, в зависимости от того, какая из величин меньше, от летней ватерлинии в месте расположения люка.

1.1.6.3 На люки, предназначенные для аварийного выхода, требования *1.1.6.9(a)*, *1.1.6.9(b)*, *1.1.6.13* и *1.1.6.14* не распространяются.

1.1.6.4 Для крышек люков малых размеров прямоугольной формы, изготовленных из стали, толщина листа, расположение ребер жесткости и размеры связей должны соответствовать *табл. 11.1.1* и *рис. 11.1.1*.

1.1.6.5 Там, где они установлены, ребра жесткости должны быть выверены относительно точек контакта металла с металлом в соответствии с требованиями, приведенными в *1.1.6.10* и *1.1.6.11*. См. также *рис. 11.1.1*. Основные ребра жесткости должны быть непрерывными. Все ребра жесткости должны быть приварены к ребру жесткости внутренней кромки. См. *рис. 11.1.2*.

1.1.6.6 Верхняя кромка комингса люка должна быть надлежащим образом подкреплена поперечным элементом, как правило, расположенным на расстоянии не более 190 мм от верхнего края комингса.

1.1.6.7 Для крышек люков малых размеров круговой или аналогичной формы толщина листа, из которого изготовлена крышка, и подкрепление должны обеспечивать прочность и жесткость, эквивалентную требованиям для люков малых размеров прямоугольной формы.

1.1.6.8 Для крышек люков малых размеров, изготовленных из прочих материалов, отличных от стали нормальной прочности, требуемые поперечные размеры связей должны обеспечивать эквивалентную прочность и жесткость.

1.1.6.9 Основное устройства для задраивания должно быть такой конструкции, чтобы крышка люка могла быть задраена на штатном месте и обеспечивалась непроницаемость при воздействии моря одним из следующих устройств:

а) барашковая задрайка, затягивающиеся на вилочные элементы (скобы);
б) эксцентриковые задрайки, или
в) центральное запирающее устройство.
Использование ручных клиновых задраек не допускается.

1.1.6.10 Крышки люков должны иметь уплотнения из эластичного материала. Конструкция уплотнения должно быть спроектировано таким образом, чтобы обеспечить контакт металла с металлом при расчетной величине сжатия и предотвратить избыточное сжатие прокладки силами, возникающими при заливании судна, которые могут привести к ослаблению и смещению устройств для задраивания.

1.1.6.11 Контакты типа «металл – металл» необходимо располагать вблизи от каждого устройства для задраивания в соответствии с *рис. 11.1.1*, а также они должны быть достаточно надежными при действии нагрузки.

1.1.6.12 Основное устройство для задраивания должно быть сконструировано и изготовлено таким образом, чтобы расчетное давление сжатия обеспечивалось одним человеком вручную без необходимости использования каких-либо инструментов.

1.1.6.13 Если в основном устройстве для задраивания используются барашковые устройства, вилки (зажимные планки) должны быть надежной конструкции. Их конструкция должна сводить к минимуму риск смещения барашковых задраек; это достигается путем изгиба зажимной планки в верхнем направлении, поднятия свободного конца или подобным методом. Полная толщина листа неподкрепленных зажимных стальных планок должна быть не менее 16 мм. Пример подобной конструкции показан на *рис. 11.1.2*.

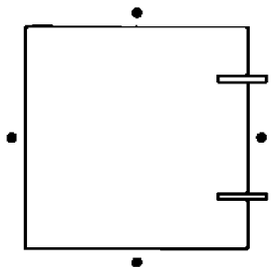
1.1.6.14 Люки малых размеров, расположенные в носовой оконечности судна должны быть снабжены независимым вспомогательным устройством для задраивания, например, скользящий болт, запор или стержень, которые должны удерживать люковое закрытие в задраенном положении даже в случае ослабления и смещения основного устройства для задраивания. Оно должно быть установлено на стороне, противоположной петлям люкового закрытия.

Таблица 11.1.1

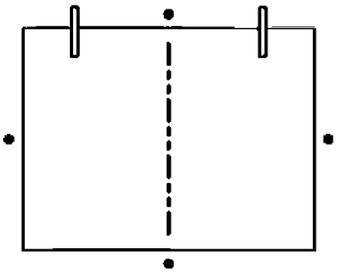
Габаритные размеры малых стальных крышек люков на палубе в носовой оконечности судна

Номинальный размер (мм × мм)	**Толщина крышки, мм**	**Основные ребра жесткости**	**Вспомогательные ребра жесткости**
		Размеры брутто полосового профиля (мм × мм), количество	**Конструкция ребер жесткости**
630 × 630	8	–	–
630 × 830	8	100 × 8; 1	–
830 × 830	8	100 × 8; 1	–
830 × 630	8	100 × 10; 1	–
1030 × 1030	8	120 × 12; 1	80 × 8; 2
1330 × 1330	8	150 × 12; 2	100 × 10; 2

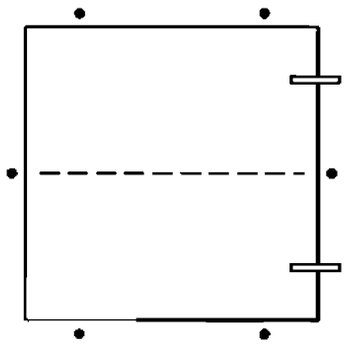
Рис. 11.1.1
Конструкция ребер жесткости



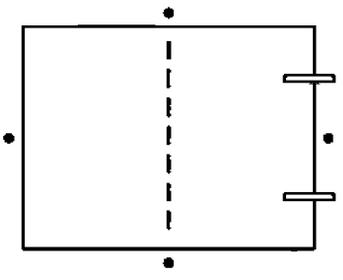
Номинальный размер 630 × 630



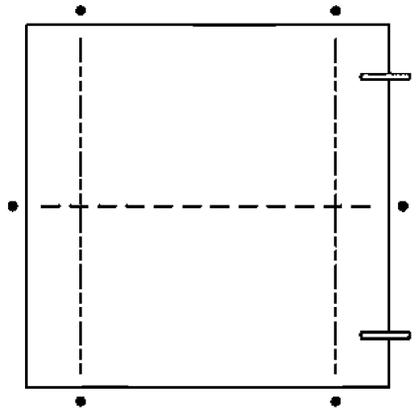
Номинальный размер 630 × 830



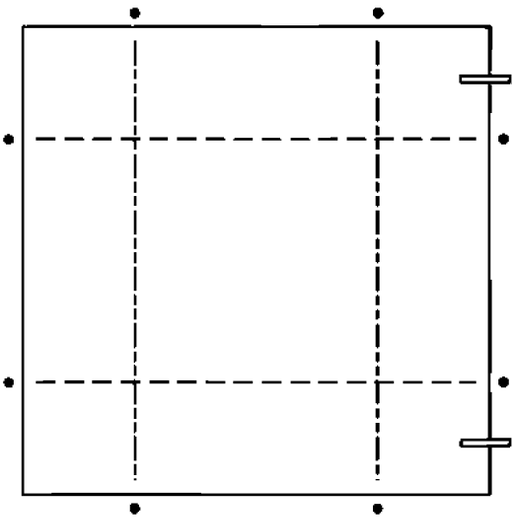
Номинальный размер 830 × 830



Номинальный размер 830 × 630



Номинальный размер 1030 × 1030



Номинальный размер 1030 × 1030

Петля

Задраивающее устройство/контакт «металл – металл»

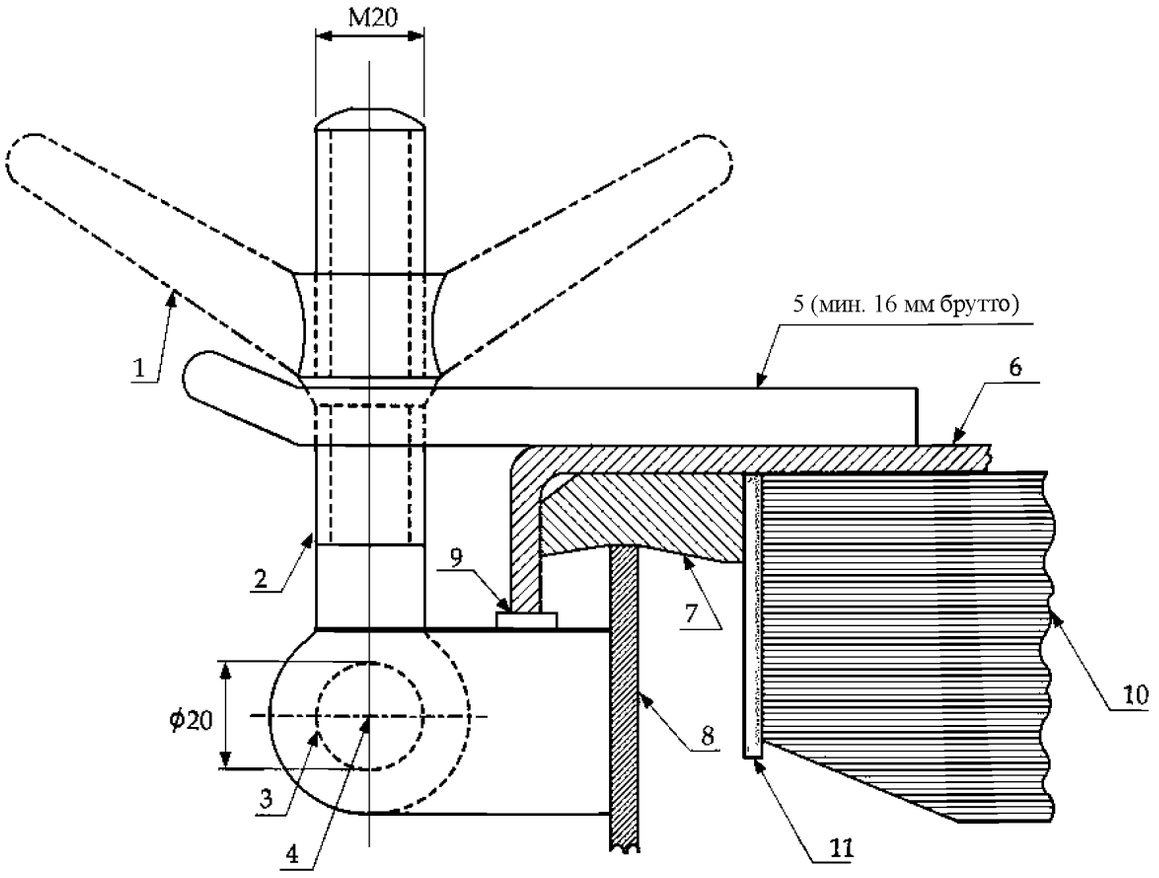
Основное ребро жесткости

Вспомогательное ребро жесткости

Примечание

1. Габаритные размеры приведены в миллиметрах.

Рис. 11.1.2
Пример метода основного задраивания



(Примечание: Размеры приведены в миллиметрах)

1: барашковая задрайка
2: болт
3: штырь
4: центр штыря
5: вилка (стопорящая планка)
6: люковое закрытие
7: уплотнение
8: комингс люка
9: опорная приварная планка на бракете для обеспечения контакта «металл – металл»
10: ребро жесткости
11: ребро жесткости (планка) верхней кромки

1.1.7 Лазы и палубные иллюминаторы

1.1.7.1 Лазы и палубные иллюминаторы, расположенные в положении 1 или положении 2 в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.2*, либо в пределах надстроек, не являющихся защищенными, должны быть закрыты соответствующими крышками, которые должны быть водонепроницаемыми.

1.1.7.2 Прочность водонепроницаемых крышек должна быть эквивалентна прочности палубы.

1.1.7.3 Если крышки не закреплены близко расположенными болтами, они должны быть закрыты постоянно.

1.1.8 Прочие отверстия

1.1.8.1 Отверстия в палубе надводного борта за исключением люков, отверстий, ведущих в машинное отделение, лазов и палубных иллюминаторов должны быть защищены закрытой надстройкой либо рубкой или тамбуром эквивалентной прочности и непроницаемой при воздействии. Такие же отверстия, расположенные на открытой палубе надстройки или рубки на палубе надводного борта, которые обеспечивают доступ в помещение ниже палубы надводного борта или внутрь защищенной надстройки, должны быть защищены эффективной рубкой или тамбуром, в соответствии с определением, приведенным в *1.4*.

1.1.9 Аварийные выходы

1.1.9.1 Конструкция закрытий люковых крышек эвакуационных отверстий должна позволять оперировать ими с обеих сторон крышки.

1.1.10 Люки для хранения тросов

1.1.10.1 Люки для хранения тросов могут иметь высоту комингса, как правило, не менее 380 мм при условии, что они тщательно задраены и могут быть открыты только с разрешения капитана судна. Полная толщина комингса должна составлять не менее, чем минимальная требуемая Правилами полная толщина прилегающей обшивки корпуса, либо 11 мм, в зависимости от того, какая из этих величин меньше.

1.1.11 Съемные листы

1.1.11.1 В случае, когда требуется использование съемных листов в шахтах или палубах для демонтажа машинного оборудования или прочих аналогичных целей, они могут допускаться при условии, что их прочность эквивалентна прочности сплошной переборки или палубы, не имеющей отверстий. Съемные листы могут монтироваться заподлицо и должны фиксироваться с помощью уплотнений и болтов с малым шагом на расстоянии, не превышающем пяти диаметров болта.

1.1.11.2 Высота комингсов отверстий для доступа и высота комингсов палубных отверстий, закрытых крышками, которые при нахождении судна в море держатся постоянно закрытыми, требуют специального рассмотрения.

1.1.12 Отверстия для мойки танков и измерения уровня

1.1.12.1 Отверстия для мойки танков и измерения уровня должны быть снабжены водонепроницаемыми закрытиями или эквивалентными им приспособлениями. Крышки, устанавливаемые заподлицо, могут допускаться к установке на отверстиях для мойки танков и измерения уровня, если они соответствуют применимым требованиям, приведенным в *1.1.11*.

Таблица 11.1.2

Стандарты толщины и размера бракет для вентиляционных труб высотой 900 мм

Номинальный размер трубы	Минимальная установленная толщина брутто, мм	Максимальная расчетная площадь верхней части, $см^2$	Высота бракетов, мм
1	2	3	4
80A	6,3	–	460
100A	7,0	–	380
150A	8,5	–	300
200A	8,5	550	–

1	2	3	4
250A	8,5	880	–
300A	8,5	1200	–
350A	8,5	2000	–
400A	8,5	2700	–
450A	8,5	3300	–
500A	8,5	4000	–

1.2 Вентиляция

1.2.1 Общие сведения

1.2.1.1 Вентиляторы должны соответствовать требованиям, приведенным в *1.2.2* по *1.2.6*, а также соответствовать любым другим требованиям к машинному оборудованию конкретных классификационных обществ.

1.2.2 Подробная информация, конструкция и размеры связей вентиляции

1.2.2.1 Для стандартных вентиляционных труб высотой 900 мм, закрытых головками площадью не более указанных в таблицах проектных величин, минимальная толщина труб и высоты бракет должны соответствовать величинам, приведенным в *табл. 11.1.2*.

1.2.2.2 Для вентиляционных труб, высота которых превышает 900 мм, необходимо обеспечить бракеты или альтернативные подкрепляющие конструкции. Там, где они смонтированы, бракеты должны иметь надлежащую длину и толщину, соответствующие их высоте.

1.2.2.3 Вентиляторы должны иметь комингсы, изготовленные из стали или других эквивалентных материалов, и соответствовать требованиям, приведенным в *табл. 11.1.3*.

1.2.2.4 Все составные части и соединения вентиляционных труб должны быть способны выдерживать нагрузки, определенные в *1.2.3*.

1.2.2.5 Для использования в областях, указанных в *1.2.3.1*, не следует применять вентиляционные грибовидные головки вращающегося типа.

1.2.2.6 Вентиляционные каналы, проходящие через надстройки, за исключением выгороженных надстроек, должны иметь комингсы из стали или другого эквивалентного материала на уровне палубы свободного борта. Вентиляционные каналы диптанков или тоннелей, проходящие через твиндеки, должны быть водонепроницаемыми, а их связи должны выдерживать ожидаемое давление.

Таблица 11.1.3

Комингсы для вентиляторов

Характеристики	Требования
1	2
Высота [4]	h_{coam} = 900 в положении 1 h_{coam} = 760 в положении 2 [1]
Толщина [2], [3]	$d_{coam} \leq 130$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 7.5 $165 < d_{coam} < 320$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 8.5 $d_{coam} \geq 470$ $t_{coam\text{-}grs}$ = 10.0 Промежуточные значения следует получать методом линейной интерполяции

Продолжение табл. 11.1.3

1	2
Опора (3)	В случае, если h_{coam} превышает 900, комингс необходимо обеспечить специальной несущей конструкцией

где h_{coam} высота комингса, мм;
d_{coam} наружный диаметр комингса, мм;
$t_{coam\text{-}grs}$ толщина брутто комингса, мм.

Примечание
1. Может возникнуть необходимость увеличить высоту комингса для того, чтобы удовлетворить любым применимым требованиям к подразделению и остойчивости поврежденного судна.
2. В случае, когда высота вентиляторов превышает заданную, вышеуказанная толщина брутто может быть постепенно уменьшена в области, превышающей эту высоту, до минимального значения в 6,5 мм.
3. Информацию по вентиляторам, установленным в носовой части судна, см. также *1.2.3* и *1.2.4*.
4. Высоты измеряются относительно обшивки, если таковая установлена.

1.2.3 Прилагаемые нагрузки на вентиляторы

1.2.3.1 Вентиляторы, расположенные на открытой части палубы в пределах носового участка $0{,}25L$, а также в любых областях, в которых высота открытой части палубы в месте расположения вентилятора составляет менее $0{,}1L$ или 22 м в зависимости от того, какая из величин меньше, от летней грузовой марки должны соответствовать требованиям, приведенным в *1.2.3.2 – 1.2.3.3*, а также *1.2.4.1*.

1.2.3.2 Давление, воздействующее на вентиляторы, P_{vent}, и их закрывающие устройства приведено в следующей формуле:

$$P_{vent} = 0{,}5\rho_{sw} v_{sea}^2 C_1 C_2 C_3 \quad \text{кН/м}^2$$

где P_{sw} плотность забортной воды, 1,025 т/м^3;
V_{sea} скорость движения воды через носовую часть палубы, 13,5 м/с;
C_1 коэффициент формы:
0,5 для труб;
1,3 для труб или вентиляторных головок в целом;
0,8 для труб или вентиляторных головок цилиндрической формы при оси, расположенной в вертикальном направлении;
C_2 коэффициент слеминга, *3.2*;
C_3 защитный коэффициент:
0,7 для труб и вентиляционных оголовков, расположенных непосредственно за волноломом или полубаком;
1,0 для прочих областей, включая область непосредственно за фальшбортом.

1.2.3.3 Силы, действующие на вентилятор и его закрывающее приспособление в горизонтальном направлении, могут рассчитываться на основании прилагаемого сверху давления с использованием наибольшей расчетной площади каждого элемента.

1.2.4 Требования к прочности вентиляторов и их закрывающих устройств

1.2.4.1 Изгибающие моменты и нагрузки на вентиляторы должны быть рассчитаны в критических точках:

а) в местах расположения проникающих элементов;
б) в области сварных швов или фланцевых соединений;
в) на подпятниках несущих бракетов.

Изгибающие напряжения в сечении нетто не должны превышать $0{,}8\,\sigma_{yd}$, где σ_{yd} – это заданный минимальный предел текучести, или 0,2 % условного предела текучести стали при комнатной температуре. Вне зависимости от защиты от коррозии также необходимо использовать прибавку на коррозию к сечению нетто, равную 2 мм.

1.2.5 Закрывающие приспособления

1.2.5.1 За исключением иных требований, приведенных в данном параграфе, вентиляционные отверстия должны оснащаться эффективными постоянно закрепленными закрывающими приспособлениями. Вентиляторы в положении 1, комингсы которых простираются более чем на 4,5 м над уровнем палубы, и в положении 2, комингсы которых простираются более чем на 2,3 м над уровнем палубы, не должны оснащаться приспособлениями для закрытия, за исключением случаев, когда это становится необходимым из-за необычных элементов конструкции. Положение 1 и положение 2 определены в *разделе 4/1.2*.

1.2.6 Автоматические противопожарные заслонки

1.2.6.1 В случае, если автоматическая противопожарная заслонка установлена в пределах комингса вентиляционного отверстия, в комингсе необходимо обеспечить смотровой лючок или отверстие диаметром не менее 150 мм для того, чтобы облегчить освидетельствование противопожарной заслонки без необходимости разбирать комингс или вентилятор. Закрытие, устанавливаемое на смотровом лючке или отверстии, должно поддерживать водонепроницаемость комингса и, если необходимо, огненепроницаемость комингса.

1.3 Воздушные и измерительные трубы танков

1.3.1 Общие сведения

1.3.1.1 Воздушные и измерительные трубы должны соответствовать требованиям, приведенным в *1.3.2* по *1.3.6*, а также они должны соответствовать любым релевантным требованиям к машинному оборудованию, предъявляемым конкретными классификационными обществами.

1.3.2 Высота

1.3.2.1 Минимальная высота воздушных труб на палубах, подвергающихся воздействию погодных условий, должна быть следующей:

а) 760 мм для воздушных труб, расположенных на палубе надводного борта; и
б) 450 мм для воздушных труб, расположенных на палубе надстройки.
Высоту следует измерять от вершины обшивки, если таковая установлена, до точки, откуда может происходить доступ воды в нижележащие пространства.

1.3.2.2 В случае, когда эти высоты могут мешать нормальной работе судна, может допускаться меньшая высота при условии, что на открытом конце вентиляционной трубы будет установлено утвержденное закрывающее приспособление.

1.3.2.3 Может возникнуть необходимость увеличения высоты для того, чтобы удовлетворить любым применимым требованиям по подразделению и аварийной остойчивости судна.

1.3.2.4 В случае, если вентиляционные трубы проводятся через бортовые части надстроек, высота их отверстий должна составлять как минимум 2,3 м от ватерлинии летней грузовой марки. Необходимо обеспечить наличие автоматических головок вентиляционных труб утвержденной конструкции.

1.3.3 Подробная информация, конструкция и размеры связей воздушных и измерительных труб

1.3.3.1 Толщина стенок воздушных и измерительных труб в случае, когда они подвергаются воздействию погодных условий, должны приниматься равными не меньше величин, приведенных в *табл. 11.1.4*.

Таблица 11.1.4

Минимальная толщина стенки для вентиляционных труб и измерительных трубок

Наружный диаметр, мм	**Минимальная толщина брутто стенки, мм**
$d_{air} \le 80$	6,0
$d_{air} \le 165$	8,5
где d_{air} наружный диаметр трубы, мм	
Примечание 1. Промежуточные значения следует получать методом линейной интерполяции. 2. Дополнительную информацию по трубам, расположенным в носовой части судна, см. также *1.3.4* и *1.3.5*.	

1.3.3.2 Для стандартных воздушных труб высотой 760 мм, закрытых оголовками площадью, не превышающей расчетную площадь, приведенную в таблице, минимальная толщина труб и высоты бракетов должны соответствовать значениям, приведенным в *табл. 11.1.5*. Там, где необходимы бракеты, следует устанавливать три или более радиальных бракет. Кроме того, следует применять соответствующие требования, приведенные в *1.3.4*.

1.3.3.3 Бракеты должны иметь полную толщину 8 мм или более, минимальную длину 100 мм и высоту в соответствии с *табл. 11.1.5*, однако они не должны выходить за пределы соединительного фланца оголовка. Подпятники бракет на палубе должны иметь соответствующее подкрепление. Кроме того, необходимо приложить нагрузки в соответствии с *1.3.4*. Бракеты, где они установлены, должны быть надлежащей толщины и длины в соответствии с их высотой.

1.3.3.4 Полная толщина труб должна соответствовать применяемым требованиям к машинному оборудованию конкретных классификационных обществ.

1.3.4 Нагрузка, прилагаемая к воздушным и измерительным трубам

1.3.4.1 Воздушные и измерительные трубы, расположенные на открытой части палубы в пределах носового участка $0{,}25L$, а также в любых областях, в которых высота открытой части палубы в месте расположения вентиляционной трубы или измерительной трубки составляет менее $0{,}1L$ или 22 м в зависимости от того, какая из величин меньше, от летней грузовой марки должны соответствовать требованиям, приведенным в *1.3.4.2 – 1.3.4.3*, а также *1.3.5.1*.

Таблица 11.1.5

Толщины и стандарты конструкций бракет для вентиляционных труб высотой 760 мм

Номинальный размер трубы	**Минимальная установленная полная толщина, мм**	**Максимальная расчетная площадь головки, см^2**	**Высота [1] бракет, мм**
1	2	3	4
65A	6,0	–	–
80A	6,3	–	480
100A	7,0	–	460
125A	7,8	–	380
150A	8,5	–	300
175A	8,5	–	300

1	2	3	4
200A	8,5 (2)	1900	300
250A	8,5 (2)	2500	300 (2)
300A	8,5 (2)	3200	300 (2)
350A	8,5 (2)	3800	300 (2)
400A	8,5 (2)	4500	300 (2)

Примечание
1. Бракеты (см. *1.3.3.2*) не должны выступать за соединительный фланец оголовка.
2. Бракеты необходимы там, где полная толщина сечения трубы составляет менее 10,5 мм, либо при превышении расчетной площади оголовка.

1.3.4.2 Давление, воздействующее на воздушные и измерительные трубы и их устройства для закрытия, Ppipe, вычисляется по следующей формуле:

$$P_{pipe} = 0{,}5\rho_{sw} v_{sea}^2 C_1 C_2 C_3 \quad \text{кН/м}^2,$$

где c_{sw} плотность забортной воды, 1,025 т/м^3;
v_{sea} скорость движения воды через носовую часть палубы, 13,5 м/с;
C_1 коэффициент формы:
0,5 для труб;
1,3 для труб или вентиляторных оголовков в целом;
0,8 для труб или вентиляторных оголовков цилиндрической формы при оси, расположенной в вертикальном направлении;
C_2 коэффициент слеминга, *3.2*;
C_3 защитный коэффициент:
0,7 для труб и вентиляционных оголовков, расположенных непосредственно за волноломом или полубаком
1,0 для прочих областей, включая область непосредственно за фальшбортом

1.3.4.3 Силы, действующие на трубу и ее закрывающее приспособление в горизонтальном направлении, могут рассчитываться на основании прилагаемого сверху давления с использованием наибольшей расчетной площади каждого элемента.

1.3.5 Требования к прочности воздушных и измерительных труб и их устройств головок

1.3.5.1 Изгибающие моменты и напряжения при изгибе вентиляционных труб и измерительных трубок следует рассчитывать в следующих критических областях:

а) в местах расположения проникающих элементов;
б) в области сварных швов или фланцевых соединений;
в) на подпятниках несущих бракетов.
Изгибающие напряжения в сечении нетто не должны превышать 0,8 σ_{yd}, где σ_{yd} – это заданный минимальный предел текучести, или 0,2 % условного предела текучести стали при комнатной температуре. Вне зависимости от защиты от коррозии также необходимо использовать прибавку на коррозию к нетто сечению, равную 2 мм.

1.3.6 Приспособления для закрытия вентиляционных труб

1.3.6.1 Все вентиляционные трубы, заканчивающиеся на верхней палубе, необходимо оснастить U-образными обратными коленами (S-образным коленом) либо другой эквивалентной конструкцией для предотвращения попадания воды внутрь судна.

1.3.6.2 Выходное отверстие необходимо оснастить постоянными приспособлениями для закрытия, стойкими к атмосферным воздействиям. Устройство закрытия должно быть автоматического типа, т.е. автоматически закрываться при погружении (например, сферический поплавок или эквивалентное приспособление) для любого из нижеприведенных случаев:

а) выходное отверстие погружается под углом 40°, при этом судно загружено по отметку летней грузовой марки, либо под углом затопления, если он менее 40°;
б) необходимость соответствовать требованиям по остойчивости поврежденного судна.

1.3.6.3 Воздушные трубы не следует оснащать клапанами, которые могут оказать отрицательное влияние на функцию вентиляции.

1.4 Надстройки и трапы, соединяющие палубы

1.4.1 Применимость

1.4.1.1 Требования, приведенные в данном разделе, применимы в отношении стальных палубных рубок и лестниц, соединяющих палубы, в соответствии с *1.4.3.1* и *1.4.3.2*.

1.4.1.2 Требования к размерам связей зависят от расположения в вертикальном направлении предмета относительно ватерлинии. Это расположение категоризируется с точки зрения «ярусов».

1.4.2 Материалы

1.4.2.1 Требования к связям, приведенные в *1.4*, касаются конструкций, изготовленных из конструкционной стали для корпусных конструкций в соответствии с требованиями, приведенными в *разделе 6/1*. Связи палубных рубок, изготовленных из алюминиевых сплавов, будут рассматриваться конкретным Сообществом при условии передачи спецификации на предлагаемые к использованию сплавы.

1.4.3 Определения

1.4.3.1 Палубная рубка определяется как снабженная палубой конструкция, расположенная выше прочной палубы, бортовая обшивка которой находится внутри по отношению к обшивке каркаса более чем на 4 % ширины судна, *B*.

1.4.3.2 Палубная рубка определяется как палубная конструкция, устойчивая к атмосферным воздействиям, защищающая люк, ведущий в отсек, расположенный ниже палубы свободного борта, либо в помещение, расположенное внутри замкнутой надстройки.

1.4.3.3 Ярус определяется как мера протяженности палубной рубки. Ярус палубной рубки состоит из палубы и внешних переборок. В общем случае первый ярус представляет собой ярус, расположенный на палубе свободного борта.

1.4.4 Непрерывность конструкции

1.4.4.1 В кормовых надстройках расположение носовой переборки должно точно соответствовать поперечной переборке, расположенной ниже в корпусе, либо она должна подкрепляться комбинацией частичных поперечных переборок, балок и пиллерсов.

1.4.4.2 Кормовая переборка должна быть эффективно подкреплена.

1.4.4.3 В углах крепления палубной рубки к прочной палубе необходимо обратить внимание на соединение надстройки с конструкциями для передачи нагрузки на подпалубные конструкции.

1.4.4.4 Настолько, насколько это практически возможно, открытые боковые конструкции, а также главные продольные и поперечные переборки должны быть расположены над переборками и/или рамными элементами корпуса, а также располагаться соосно при многоярусном их расположении. В случае, когда такое соосное невозможно, необходимо обеспечить наличие другой действующей несущей конструкции.

1.4.4.5 Необходимо предпринять меры для минимизации воздействия отсутствия непрерывности в надстройках. Все отверстия, вырезанные в боковых стенках, должны быть снабжены достаточно прочным каркасом и иметь хорошо скругленные углы. Непрерывные комингсы или балки необходимо устанавливать под и над дверями и аналогичными отверстиями.

1.4.5 Настил палубы

1.4.5.1 Толщина брутто настила, $t_{dk\text{-}grs}$, должна составлять не менее:

$$t_{dk\text{-}grs} = 7{,}5\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \text{ мм,} \quad \text{для палубных рубок первого яруса}$$

$$t_{dk\text{-}grs} = 7{,}0\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \text{ мм,} \quad \text{для палубных рубок второго яруса}$$

$$t_{dk\text{-}grs} = 6{,}5\sqrt{\frac{ks}{s_{std}}} \text{ мм,} \quad \text{для палубных рубок третьего яруса и выше}$$

где s шпация ребер жесткости, м;
k коэффициент для стали высокой прочности в соответствии с *разделом 6/1.1.4*;
y_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;
s_{std} стандартная контрольная шпация продольных элементов конструкции или бимсов, м:
$= 0{,}470 + 0{,}00167L_1$;
L_1 длина рейки в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*, однако ее величину не следует принимать превышающей 250 м.

1.4.5.2 Толщина обшивки внутри палубных рубок может быть уменьшена на 10 % при условии, что уменьшенная толщина брутто, $t_{dh\text{-}grs}$, составляет не менее:

$$t_{gh\text{-}grs} = (5{,}8s + 1)\sqrt{k} \text{ мм, однако она должна быть равной не менее 5,5 мм,}$$

где s шпация ребер жесткости, м;
k коэффициент для стали высокой прочности в соответствии с *разделом 6/1.1.4*;
y_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

1.4.6 Продольные подпалубные балки и бимсы

1.4.6.1 Для каждого продольной балки или бимса в соединении с обшивкой, к которой он прикреплен, брутто-момент сопротивления сечения, $Z_{lng\text{-}grs}$, не должен составлять менее, чем:

$$Z_{lng\text{-}grs} = 4{,}563\, s\, l_{bdg}^2\, h_{tier}\, k \text{ см}^3,$$

где s шпация ребер жесткости, м;
l_{bdg} изгибаемый участок в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/2.1.1*, м;
B в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.3.1*;
h_{tier} высота нагрузки относительно яруса палубной рубки, м:
1,68 для юта и первого яруса над палубой свободного борта,
1,30 для второго яруса над палубой свободного борта,
0,91 для третьего яруса и выше над палубой свободного борта.
Для палубных рубок, расположенных на втором ярусе или выше относительно палубы свободного борта, в целом используемых только в качестве защиты от атмосферных воздействий, величина h_{tier} может быть уменьшена, но ни в каком случае она не может быть меньше 0,46;

k коэффициент для стали более высокой прочности в соответствии с определением, приведенным в *разделе 6/1.1.4*;
y_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

1.4.7 Карлингсы и рамные бимсы

1.4.7.1 Карлингсы и рамные бимсы должны устанавливаться для того, чтобы обеспечивать поддержку бимсов или продольных подпалубных балок. В случае, если конструкция карлингсов и рамных бимсов такова, что эти элементы выполняют функцию перекрытия, может быть выполнен дополнительный анализ для того, чтобы принять в расчет эффект перекрытия и доказать, что связи эквивалентны связям, требуемым в соответствии с *1.4.7.2* и *1.4.7.3*. Для этого анализа следует использовать размеры брутто связей, а основные геометрические параметры должны соответствовать приведенным в *1.4.7.2*, а нагрузку следует принимать равной величине, требуемой в *1.4.7.2*, удельной плотности, равной 0,715 т/м^3 и допустимым напряжением при изгибе, принятым равным 0,67 σ_{yd}. Для определения размеров связей, эквивалентных указанным в *1.4.7.3*, эквивалентность должна быть основана на прогибе в точках пересечения карлингсов /рамных бимсов и на половине пролета элементов; также допустимый прогиб следует принимать равным прогибам, рассчитанным для простого бимса, соответствующего требованиям. *1.4.7.2*, при глубине d_{grd} в соответствии с *1.4.7.3*.

1.4.7.2 Для каждого карлингса или поперечного рамного элемента момент брутто сопротивления материала, $Z_{t\text{-}grs}$, должен быть равен не менее, чем следующая величина:

$$Z_{t-grs} = 4{,}74\, b_{dk}\, l_{bdg}^2\, h_{tier}\, k \quad \text{см}^3,$$

где B_{dk} средняя ширина поддерживаемой области палубы, м;
l_{bdg} пролет, в котором происходит изгиб, который следует принимать как расстояние между центрами опорных пиллерсов, либо между пиллерсами, поперечными элементами, карлингсами и/или поддерживающими их переборками, м.
В случае, когда на переборке установлен бракет, длина l_{bdg} может быть изменена, см. *раздел 4/2.1.4*;
h_{tierc} высота нагрузки относительно яруса палубной рубки, м:
1,68 для юта и первого яруса над палубой свободного борта;
1,30 для второго яруса над палубой свободного борта;
0,91 для третьего яруса и выше над палубой свободного борта.
Для палубных рубок, расположенных на втором ярусе или выше относительно палубы свободного борта, в целом используемых только в качестве защиты от атмосферных воздействий, величина h_{tier} может быть уменьшена, но ни в каком случае она не может быть меньше 0,46.
k коэффициент для стали более высокой прочности в соответствии с определением, приведенным в *разделе 6/1.1.4*;
y_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

1.4.7.3 Высота стенки карлингсов и поперечных рамных элементов, d_{grd}, должна составлять не менее:

$$d_{grd} = 0{,}0583\, l_{bdg} \quad \text{м},$$

где l_{bdg} пролет, в котором происходит изгиб, который следует принимать равным расстоянию между центрами опорных пиллерсов, или между пиллерсами, поперечными элементами, балками и /или поддерживающими их переборками, м.
В случае, когда на переборке установлен бракет, длина l_{bdg} может быть изменена, см. *раздел 4/2.1.4*.
В случае, если карлингсы и рамы поперечных переборок пересекаются, можно рассмотреть возможность принятия меньшей глубины для более длинного элемента в случае, если более короткий элемент обеспечивает полную опору более длинному элементу.

1.4.7.4 Полная толщина карлингсов и поперечных рамных элементов не должна приниматься равной менее 1 мм на 100 мм высоты стенки плюс дополнительные 4 мм. В случае, если демонстрируется удовлетворительная прочность стенки на срез и ее устойчивость, могут допускаться меньшие толщины. В целях проведения анализа прочности на срез следует использовать размеры брутто связей, основные геометрические параметры должны быть в соответствии с указаниями *1.4.7.2*, нагрузку следует принимать равной величине, требуемой в *1.4.7.2* при удельной плотности, равной 0,715 т/м^3, а допустимое касательное напряжение следует принимать равным $0{,}39\sigma_{yd}$. Устойчивость считается удовлетворительной, когда соотношение высоты стенки к полной толщине меньше 75.

1.4.8 Пиллерсы

1.4.8.1 Размеры брутто связей пиллерсов должны быть такими, чтобы допустимая нагрузка, измеренная в соответствии с *1.4.8.2*, превышала расчетную нагрузку, определенную в соответствии с *1.4.8.3*, с учетом требования, указанного в *1.4.8.4*.

1.4.8.2 Допустимая нагрузка на пиллерс, W_{perm}, рассчитывается по следующей формуле:

$$W_{perm} = (f_{s1} - h_{pill} f_{s2} / r_{gyr-grs}) A_{pill-grs} \quad \text{кН},$$

где f_{s1} коэффициент для стали:
- 12,09 сталь нормальной прочности;
- 13,59 высокопрочная сталь HT27;
- 16,11 высокопрочная сталь HT32;
- 17,12 высокопрочная сталь HT34;
- 18,12 высокопрочная сталь HT36;
- 20,14 высокопрочная сталь HT40;

h_{pill} расстояние между вершиной пиллерса, поддерживающего палубу, или другой конструкцией, находящейся с нижней стороны поддерживаемого бимса или карлингса, м;

f_{s2} коэффициент для стали:
- 4,44 сталь нормальной прочности;
- 5,57 высокопрочная сталь HT27;
- 7,47 высокопрочная сталь HT32;
- 8,24 высокопрочная сталь HT34;
- 9,00 высокопрочная сталь HT36;
- 10,52 высокопрочная сталь HT40;

$r_{gyr-grs}$ радиус инерции для сечения брутто пиллерса, см^2;

$A_{pill-grs}$ площадь брутто поперечного сечения пиллерса, см^2.

1.4.8.3 Расчетная нагрузка на конкретный пиллерс, W_{des}, находится по следующей формуле:

$$W_{des} = 7{,}04\, b_{dk} h_{tier} l_{dk} \quad \text{кН},$$

где b_{dk} средняя ширина поддерживаемой области палубы, м;

h_{tier} высота нагрузки относительно яруса палубной рубки, м:
- 1,68 для юта и первого яруса над палубой свободного борта;
- 1,30 для второго яруса над палубой свободного борта;
- 0,91 для третьего яруса и выше над палубой свободного борта;

Для палубных рубок, расположенных на втором ярусе или выше относительно палубы свободного борта, в целом используемых только в качестве защиты от атмосферных воздействий, величина h_{tier} может быть уменьшена, но ни в каком случае она не может быть меньше 0,46;

l_{dk} средняя длина поддерживаемой области палубы, м.

1.4.8.4 В случае, если пиллерсы располагаются по вертикальной оси, расчетную нагрузку на пиллерс на каждом уровне следует рассчитывать путем суммирования расчетной нагрузки на палубу непосредственно над пиллерсом и половины расчетной нагрузки на каждый расположенный выше пиллерс.

1.4.9 Наружные стенки

1.4.9.1 Размеры связей наружных стенок надстроек и трапов, соединяющих палубы, должны соответствовать *1.4.10 – 1.4.13*. Увеличенные размеры связей могут потребоваться в областях, где конструкция воспринимает на себя нагрузки от палубного оборудования, арматуры и т.д.

1.4.9.2 Размеры связей переборок надстроек, которые не защищают отверстия в палубе свободного борта, палубе надстроек или в верхней части надстройки самого нижнего яруса, могут потребовать особого рассмотрения. Также особого рассмотрения могут потребовать связи переборок надстроек, которые не защищают корпуса машинного оборудования, при условии, что они не являются частью жилых помещений или не защищают оборудования, жизненно важного для эксплуатации судна.

1.4.9.3 Для длинных надстроек могут потребоваться дополнительные опорные конструкции для того, чтобы обеспечить устойчивость к искажению, см. *1.4.13*.

1.4.10 Обшивка наружных стенок

1.4.10.1 Толщина обшивки, $t_{blk\text{-}grs}$, не должна быть меньше величины, рассчитанной на основании *1.4.10.2*, а также величины, рассчитанной по следующей формуле:

$$t_{blk\text{-}grs} = 3\,s\sqrt{k\,h_{des}} \text{ мм},$$

где s шпация ребер жесткости, м;

k коэффициент для стали высокой прочности в соответствии с *разделом 6/1.1.4*;

σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

h_{des} расчетная высота, м:

$C_4[(C_5 f) - z]\,c$

однако ее не следует принимать меньшей, чем нижеприведенная величина для заданной области:

$2{,}5 + L_1/100$ незащищенные носовые переборки самого нижнего уровня,

$1{,}25 + L_2/200$ для прочих областей.

L_1 длина судна, L, в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*, однако ее значение не следует принимать равным свыше 250 м;

L_2 длина судна, L, в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*, однако ее значение не следует принимать равным свыше 300 м;

C_4 коэффициент в соответствии с *табл. 11.1.6*;

C_5 коэффициент:

$$1{,}0 + \left[\frac{(x/L) - 0{,}45}{C_{b1} + 0{,}2}\right]^2, \quad \text{где } x/L \le 0{,}45;$$

$$1{,}0 + 1{,}5\left[\frac{(x/L) - 0{,}45}{C_{b1} + 0{,}2}\right]^2, \quad \text{где } x/L > 0{,}45;$$

C_{b1} коэффициент общей полноты в соответствии с *разделом 4/1.1.9.1*, однако его значение не следует принимать равным меньше 0,60 либо свыше 0,80. Для концевых кормовых переборок района миделя судна C_{b1} можно принимать равным 0,80;

x расстояние между ахтерпиком и рассматриваемой переборкой, м. Боковые переборки палубной рубки следует разделить на равные части, не превышающие по длине $0{,}15L$, а x следует измерять от ахтерпика до центра каждой рассматриваемой части;

L длина судна в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*;

f в соответствии с *табл. 11.1.7*;

z расстояние по вертикали от ватерлинии летней грузовой марки, измеренное от середины листового элемента, м.

$0{,}3 + 0{,}7\,d_{dh}/B_1$

однако ее значение не следует принимать равным меньше, чем 1,0 для открытых переборок шахт машинного оборудования, и ни в каком случае не следует принимать величину b_{dh}/B_1 равной меньше, чем 0,25;

b_{dh} ширина палубной рубки в рассматриваемой области, м;

B_1 фактическая ширина судна в районе палубы свободного борта в рассматриваемой области, м.

Таблица 11.1.6

Значения 'C_4'

Местоположение переборки	Значение 'C_4'
Незащищенная передняя часть, самый нижний ярус	$2{,}0 + L_2/120$
Незащищенная передняя часть, 2-й ярус	$1{,}0 + L_2/120$
Незащищенная передняя часть, 3-й ярус	$0{,}5 + L_2/150$
Защищенная передняя часть, все ярусы	$0{,}5 + L_2/150$
Бортовые части, все ярусы	$0{,}5 + L_2/150$
Кормовые концы, в корму от миделя судна, для всех ярусов	$0{,}7 + (L_2/1000) - 0{,}8x/L$
Кормовые концы, в нос от миделя судна, для всех ярусов	$0{,}5 + (L_2/1000) - 0.4x/L$

Таблица 11.1.7

Значения '*f*'

L, м	*f*, м
90	6,0
100	6,61
120	7,68
140	8,65
160	9,39
180	9,88
200	10,27
220	10,57
240	10,78
260	10,93
280	11,01
≥ 300	11,03

Примечание
1. Данная таблица основана на уравнениях, приведенных в *табл. 11.1.8.*

Таблица 11.1.8

Происхождение значений '*f*'

L, м	*f*, в м
$L \leq 150$	$(L/10)\,(e^{-L/300}) - [1 - (L/150)^2]$
$150 < L < 300$	$(L/10)\,(e^{-L/300})$
$L \geq 300$	11,03

1.4.10.2 Полная толщина переборок самого нижнего яруса, $t_{blk\text{-}tier\text{-}grs}$, должна составлять не менее нижеприведенного значения:

$$t_{blk\text{-}tier\text{-}grs} = 5{,}0 + L_1/100 \quad \text{мм}$$

Для других ярусов толщина брутто переборок должна составлять не менее, чем:

$t_{blk\text{-}tier\text{-}grs} = 4{,}0 + L_1/100$ мм, или 5,0 мм в зависимости от того, какая из величин больше,

где L_1 длина судна, *L*, в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*, однако не следует принимать значение, превышающее 250 м.

1.4.11 Ребра жесткости наружных стенок

1.4.11.1 Каждое ребро жесткости в соединении с настилом, на котором он монтируется, должно иметь момент брутто сопротивления сечения, $Z_{blk\text{-}grs}$, равный не менее:

$$Z_{blk-grs} = 3{,}5\, s\, h_{tween}^2\, h_{des}\, k \quad \text{см}^3$$

где s шпация ребер жесткости, м;
h_{tween} высота твиндека, м;
h_{des} расчетная высота в соответствии с определением, приведенным в *1.4.10.1*, при этом z следует принимать как расстояние по вертикали от летней грузовой марки до средней точки пролета ребра жесткости, м;
k коэффициент для стали высокой прочности в соответствии с *разделом 6/1.1.4*;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

1.4.12 Концевые приспособления ребер жесткости для ребер жесткости, расположенных на открытых переборках

1.4.12.1 Оба конца балок ребер жесткости переборок нижнего яруса должны быть эффективным образом закреплены. Размеры связей ребер жесткости с другими типами соединения концов будут подлежать особому рассмотрению.

1.4.13 Конструкции рамных элементов наружных стенок

1.4.13.1 В длинных многоярусных палубных рубках рамные элементы или частичные переборки должны устанавливаться в первом ярусе на максимальном расстоянии отстояния друг от друга приблизительно 9 м и располагаться, где это практически возможно, соосно в плоскости с нижерасположенными водонепроницаемыми переборками.

1.4.13.2 Рамы также должны быть обеспечены в области расположения крупных отверстий, шлюпбалок и прочих точек, испытывающих высокие нагрузки.

1.4.14 Приспособления для закрытия отверстий в надстройках и трапах

1.4.14.1 Все отверстия в переборках надстроек и трапов, которые предоставляют непосредственный доступ к замкнутым надстройкам или отсекам, расположенным ниже уровня палубы свободного борта, должны быть снабжены действующими средствами закрытия так, чтобы при любом состоянии моря вода не проникала внутрь судна.

1.4.14.2 Дверцы таких отверстий должны быть изготовлены из стали или другого эквивалентного материала и постоянно и надежно крепиться к переборке. Дверцы должны быть снабжены прокладками и зажимными устройствами или другими эквивалентными приспособлениями, которые должны быть постоянно прикреплены к переборке или к самим дверцам. Дверцы должны быть сконструированы таким образом, чтобы ими можно было воспользоваться с обеих сторон переборки. В общем случае допускаются дверцы, соответствующие принятому государственному или международному стандарту.

1.4.14.3 Отверстия для доступа должны быть снабжены каркасом и подкреплены таким образом, чтобы в целом конструкция в закрытом состоянии была эквивалентна переборке, не имеющей отверстий.

1.4.14.4 За исключением случаев, разрешенных в соответствии с *1.4.14.5*, дверцы отверстий для доступа, воздухозаборники и лазы в жилые отсеки, к посту управления и машинным отсекам не должны выходить на область расположения грузового танка. Они должны быть расположены на поперечной переборке или на боковой части палубной рубки на расстоянии не менее $0{,}04L$ и не менее 3 м от конца палубной рубки, выходящей на область расположения грузового танка. Это расстояние не должно превышать 5 м.

1.4.14.5 Дверцы отверстий для доступа в граничных переборках, выходящих на область расположения грузового танка либо расположенных в пределах 5-метровой зоны, указанной в *1.4.14.4*, ведущие к главным постам управлении грузами и в такие подсобные отсеки, используемые в качестве отсеков для хранения запасов провианта, отсеков для хранения и ящиков, могут допускаться при условии, что они не обеспечивают непосредственного или опосредованного доступа в любой другой отсек, содержащий или использующийся в качестве жилого отсека, для постов

управления или в качестве подсобных отсеков, таких как камбуз, кладовые для продуктов или мастерские, либо аналогичные отсеки, содержащие в себе источник паровозгорания. Граница такого отсека должна быть изолирована в соответствии со стандартом для класса «А-60» за исключением границы, выходящей на область расположения грузового танка.

1.4.15 Комингс отверстий для доступа

1.4.15.1 Высота комингса отверстий для доступа в переборках палубных рубок и сходных люков, которые обеспечивают непосредственный доступ в замкнутые надстройки или в отсеки, расположенные ниже уровня свободного борта, должна составлять как минимум 600 мм в районе 1 и 380 мм в районе 2 в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.2*.

1.4.16 Отверстия для доступа в машинные шахты танкеров свободного борта типа «А»

1.4.16.1 В целом не должно быть отверстий для доступа, предоставляющих непосредственный доступ с палубы свободного борта в машинное отделение в открытых машинных шахтах.

1.4.16.2 Может допускаться установка двери, соответствующей требованиям. *1.4.14.1 – 1.4.14.3*, в открытых машинных шахтах при условии, что она ведет в отсек или проход, конструкция которого так же прочна, как и шахта, и отделена от машинного отделения второй дверью, соответствующей требованиям *1.4.14.1 – 1.4.14.3*. Комингс наружной двери должен приниматься равным не менее 600 мм, тогда как высота комингса второй двери должна приниматься равной не менее 230 мм.

1.4.17 Окна и иллюминаторы

1.4.17.1 Иллюминаторы в наружных переборках палубных рубок и дверей, устойчивых к атмосферному воздействию, должны иметь надежную конструкцию в соответствии с признанным государственным или международным стандартом.

1.4.17.2 Окна и иллюминаторы, установленные в граничных областях палубных рубок, защищающих отверстия для непосредственного доступа в надстройки либо в отсеки, лежащие ниже уровня палубы свободного борта, должны устанавливаться с использованием действующих глухих затемнительных крышек, шарнирно закрепленных изнутри.

1.4.17.3 Окна и бортовые иллюминаторы, выходящие в область расположения грузовых танков, а также расположенные на стороне надстроек или палубных рубок в пределах, указанных в *1.4.14.4* и *1.4.14.5*, должны быть глухого (неоткрывающегося) типа. Такие окна и бортовые иллюминаторы, за исключением окон рулевой рубки, должны быть изготовлены в соответствии со стандартом класса «А-60».

1.5 Шпигаты, приемные и отливные отверстия

1.5.1 Сливные отверстия в закрытых помещениях

1.5.1.1 Шпигаты и отливные отверстия, дренирующие помещения, расположенные ниже уровня палубы свободного борта, либо помещения, огороженные цельными надстройками или палубными рубками на палубе свободного борта, оснащенные заслонками, соответствующими требованиям *Международной конвенции о грузовой марке, положение 12* могут выводиться в трюмы в случае шпигатов либо в соответствующие цистерны санитарной системы в случае санитарных выпускных отверстий. В качестве альтернативы они могут выводиться за борт при условии, что:

а) свободный борт имеет такую конфигурацию, что край палубы не погружается при крене судна на пять градусов в любую из сторон, и
б) каждое выпускное отверстие оснащено приспособлением, предотвращающим попадание воды внутрь судна в соответствии с *1.5.3*.

1.5.2 Выпускные отверстия в открытых помещениях

1.5.2.1 Выпускные отверстия, ведущие из надстроек или палубных рубок, не оснащенные заслонками и соответствующие требованиям *Международной конвенции о грузовой марке, положение 12*, должны выводиться за борт.

1.5.3 Предотвращение попадания воды внутрь судна

1.5.3.1 Водостоки, выходящие либо из помещений, расположенных ниже уровня палубы свободного борта, либо из надстроек и палубных рубок, расположенных на палубе свободного борта, в областях, где допускается выпуск за борт, см. *1.5.1.1(a)*, должны устанавливаться с использованием действующих и доступных средств предотвращения попадания воды внутрь судна в соответствии с *1.5.3.2 – 1.5.3.7*.

1.5.3.2 Для выпускных отверстий, которые остаются открытыми во время нормальной эксплуатации судна, таких как санитарные выпускные отверстия, средства предотвращения попадания воды внутрь судна должны соответствовать требованиям, приведенным ниже для рассматриваемой области. h_{disc} представляет собой высоту от летней грузовой марки до внутреннего конца выпуска, м:

а) $h_{disc} \leq 0{,}01L_L$:
- один автоматический невозвратный клапан с принудительным механизмом закрытия в положении выше уровня палубы свободного борта;
- в качестве альтернативы может допускаться использование одного автоматического невозвратного клапана и одного клапана с принудительным закрытием, управляемого с уровня выше палубы свободного борта;

б) $0{,}01L_L < h_{disc} \leq 0{,}02L_L$:
- два автоматических невозвратных клапана без принудительных средств закрывания при условии, что в условиях эксплуатации всегда имеется доступ к внутреннему клапану для осмотра;
- расположенный внутри судна клапан должен располагаться выше уровня наиболее низкой ватерлинии морской воды;
- если это практически невозможно, может быть установлено дополнительное устройство принудительного закрывания за бортом с местным управлением, или же может быть установлен наружный невозвратный клапан с приспособлением принудительного закрывания с местным управлением – в этом случае нет необходимости располагать внутренний клапан над уровнем наиболее низкой ватерлинии морской воды;

в) $h_{disc} > 0{,}02L_L$:
- один одиночный автоматический невозвратный клапан без устройств принудительного закрытия.

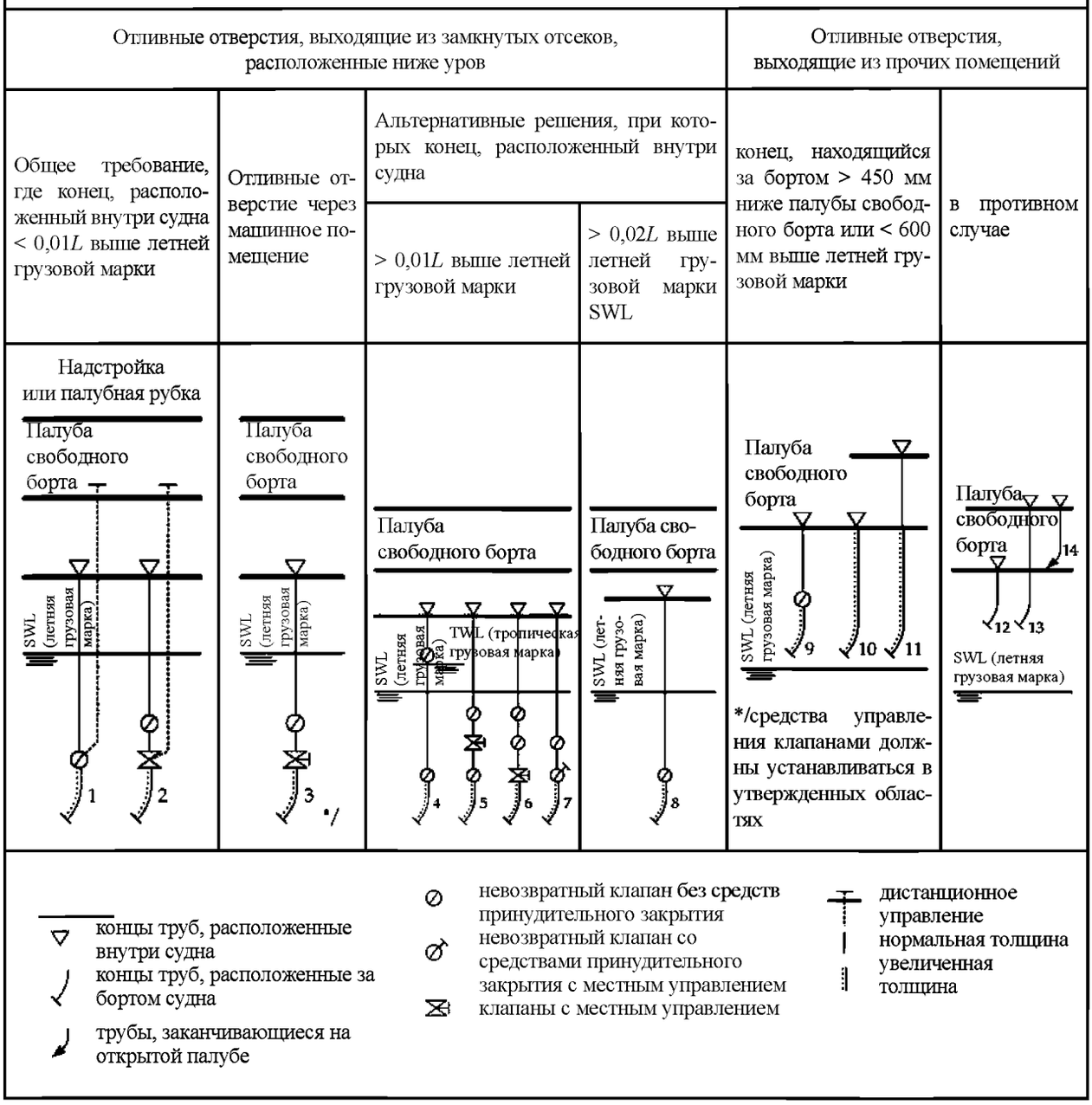
1.5.3.3 Для отверстий для выпуска за борт в области расположения машинных помещений может допускаться использование клапана с принудительным устройством закрытия и местным управлением вместе с расположенным внутри судна невозвратным клапаном вместо устройств, указанных в *1.5.3.2*.

1.5.3.4 Допустимые конструкции выпускных отверстий и шпигатов см. на *рис. 11.1.3*.

1.5.3.5 Для сливных отверстий, открытых со стороны моря, таких как гравитационные сливы с верхних балластных танков, может допускаться использование одного винтового клапана, управление которым осуществляется с палубы.

1.5.3.6 Средства управления клапаном с принудительным средством закрытия должны иметь свободный доступ и оснащаться индикатором, показывающим, открыт или закрыт клапан.

Рис. 11.1.3
Схематическая конструкция системы отливных отверстий и системы шпигатов



1.5.3.7 Сливные трубы, начинающиеся на любом уровне и проходящие через обшивку либо на уровне менее 450 мм ниже уровня палубы свободного борта, либо меньше чем 600 мм выше летней грузовой марки, должны оснащаться невозвратным клапаном в области обшивки. Данный клапан, если он не требуется в соответствии с *1.5.3.2* по *1.5.3.4*, может быть опущен, если труба имеет значительную толщину стенки в соответствии с *1.5.7.3*.

1.5.4 Приемные отверстия для забортной воды

1.5.4.1 В машинных отделениях, управляемых человеком, управление главными и вспомогательными приемными отверстиями для забортной воды и отливными отверстиями в связи с эксплуатацией машинного оборудования может осуществляться на местном уровне. Устройство управления должно быть в свободном доступе и оснащено индикаторами, показывающими, открыты или перекрыты клапаны.

1.5.5 Корпусные клапаны и арматура

1.5.5.1 Что касается монтажа, корпусные клапаны необходимо монтировать на обшивке (или кингстонном ящике). Однако в случаях, когда это практически невозможно сделать, можно использовать проставку достаточной толщины в соответствии с *1.5.7.3*. Выходные отверстия в обшивке должны быть расположены таким образом, чтобы предотвратить выход любого выпускаемого вещества на опущенное спасательное судно.

1.5.5.2 Что касается материалов, все необходимые корпусные клапаны и арматура должны изготавливаться из стали, бронзы или другого утвержденного пластичного материала. Не допускается использование обычных чугунов или аналогичных материалов.

1.5.5.3 Материалы, которые однозначно не будут являться эффективными из-за наличия тепла, не должны использоваться для изготовления соединений корпуса в случае, когда разрушение материала из-за пожара может вызвать риск затопления.

1.5.6 Машинное помещение, работающее в автоматическом режиме

1.5.6.1 Касательно машинных помещений, работающих в автоматическом режиме, управление любым клапаном, эксплуатирующимся в качестве кингстона с выпуском ниже ватерлинии, либо системой впрыска трюма, должны располагаться так, чтобы обеспечить адекватное время открытия и срабатывания средства управления в случае проникновения воды в отсек при эксплуатации судна в полностью нагруженном состоянии.

1.5.6.2 Касательно использования требований 1.5.6.1 в отношении машинных помещений, работающих в автоматическом режиме: в случае, когда расчетным путем можно показать, что аварийная ватерлиния не будет находиться выше верхнего пола танка спустя 10 мин после подачи сигнала о достижении наивысшего уровня заполнения трюма, клапанное управление может осуществляться с верхнего перекрытия танка.

Руководящее примечание:

Различные Администрации государств флагов имеют разные толкования этого требования. В случае, если судно эксплуатируется под флагом Администрации, имеющей особое толкование данного требования, толкование данного требования Администрацией государства флага будет иметь преимущественное значение перед требованиями *1.5.6.2*.

1.5.7 Трубы

1.5.7.1 Все трубы, ведущие от настила до первого клапана, должны быть изготовлены из стали или другого эквивалентного материала.

1.5.7.2 Полная толщина стенки стального трубопровода внутри клапана не должна быть меньше величин, указанных в *табл. 11.1.9*, за исключением случаев, когда требуется большая толщина.

Таблица 11.1.9

Толщина стандартных стальных труб

Наружный диаметр, мм	**Толщина брутто стенок, мм**
≤ 155	4,5
≥ 230	6,0
Примечание 1. Промежуточные значения следует получать методом линейной интерполяции.	

1.5.7.3 Толщина брутто стенки стального трубопровода в областях, где необходима ее значительная толщина, см. *1.5.3.7* и *1.5.5.1*, должна быть не меньше величин, приведенных в *табл. 11.1.10*.

Таблица 11.1.10

Толщина толстостенных стальных трубопроводов

Наружный диаметр, мм	**Полная толщина стенки, мм**
≤ 80	7,0
180	10,0
≥ 220	12,5
Примечание 1. Промежуточные значения следует получать методом линейной интерполяции.	

1.5.8 Мусоропроводы, отверстия для удаления отходов и аналогичные выпускные отверстия

1.5.8.1 Мусоропроводы, отверстия для удаления отходов и аналогичные выпускные отверстия должны изготавливаться из труб или листов из малоуглеродистой стали толщиной, эквивалентной толщине обшивки судна. Использование других материалов будет подлежать особому рассмотрению.

1.5.8.2 Отверстия не должны делаться в ширстреке и прочих областях высокой концентрации напряжений.

1.5.8.3 Необходимо соорудить загрузочные бункеры мусоропроводов, оснащенные шарнирно закрепленными крышками, устойчивыми к атмосферным воздействиям, на конце, расположенном внутри судна, с блокировкой для того, чтобы выходная заслонка и крышка загрузочного бункера не могли быть открыты одновременно.

1.5.8.4 В то время, когда бункер не используется, его крышка должна быть закреплена в закрытом положении, и в месте управления им должен быть вывешен соответствующий знак, предупреждающий об этом.

1.5.8.5 В случае, когда расположенный внутри судна загрузочный бункер имеет габаритные размеры менее $0{,}01L_L$, в дополнение к закрытию и заслонке необходимо предусмотреть клапан с принудительным закрытием в легко доступном месте выше уровня линии максимальной загрузки в соленой воде.

1.5.8.6 Управление клапаном необходимо осуществлять с места, находящегося рядом с бункером; там же необходимо поместить индикатор открытого /закрытого состояния. В то время, когда он не используется, клапан необходимо держать закрытым; в месте управления клапаном необходимо повесить соответствующий знак, предупреждающий об этом.

2 Защита экипажа

2.1 Фальшборт и леерное ограждение

2.1.1 Общие сведения

2.1.1.1 Фальшборт или леерное ограждение должны устанавливаться на границах открытых палуб надводного борта и надстроек, на границе палубных рубок первого яруса и по концам надстроек.

2.1.1.2 Фальшборт или леерное ограждение должны иметь высоту минимум 1,0 м, измеренную от обшивки, и должны иметь конструкцию, соответствующую *2.1.2*. В случаях, когда эта высота помешала бы нормальной эксплуатации судна, может быть одобрена меньшая высота. В случаях, когда запрашивается одобрение меньшей высоты, необходимо передать информацию, содержащую обоснование.

2.1.1.3 В пределах зоны 0,6*L* от миделя необходимо устанавливать фальшборты для того, чтобы обеспечить отсутствие в этих областях напряжений от балок корпуса.

2.1.1.4 Для защиты экипажа во время прохождения из жилых помещений в машинное отделение и прочие области, доступ к которым необходим для экипажа судна, необходимо обеспечивать удовлетворительные средства защиты в виде поручней, леерных устройств, дорожек, проходов под палубой или эквивалентных конструкций, см. *2.3.1.1*.

2.1.2 Конструкция фальшбортов

2.1.2.1 Толщина брутто обшивки фальшбортов на границах открытых палуб свободного борта и надстроек не должна быть меньше величины, приведенной в *табл. 11.2.1*.

Таблица 11.2.1

Толщина обшивки фальшбортов

Высота фальшборта	**Полная толщина**
1,8 м или более	в зависимости от требуемой величины для надстройки, расположенной в той же области
1,0 м	6,5 мм
Промежуточную высоту	следует определять методом линейной интерполяции

2.1.2.2 Листовые фальшборты должны подкрепляться рейлингом в верхней части и поддерживаться стойками, расстояние между которыми в общем случае не должно превышать 2,0 м.

2.1.2.3 Свободный край опоры необходимо подкрепить.

2.1.2.4 Момент брутто сопротивления сечения опор, $Z_{stay\text{-}grs}$, необходимо принимать равным не менее нижеприведенного значения. При расчете момента сопротивления опор необходимо учитывать только материал, соединенный с палубой. Если бульб или фланец стойки соединены с палубой, их можно принимать в расчет. В случае, если на оконечностях судна обшивка фальшборта соединена с ширстреком, в расчет также можно принимать ширину прикрепленной обшивки, не превышающую 600 мм.

$$Z_{stay\text{-}grs} = 77 h_{blwk}^2 s_{stay} \quad \text{см}^3,$$

где h_{blwk} высота фальшборта от верхней точки настила палубы до верхней точки поручней, м;
s_{stay} шпация стоек, м.

2.1.2.5 В областях, в которых швартовная арматура подвергает фальшборт воздействию значительных усилий, необходимо соответствующим образом увеличить прочность стоек.

2.1.2.6 Стойки фальшборта должны поддерживаться, или устанавливаться точно в соответствии с соответствующим подпалубным подкреплением. Подкрепление в местах соединения стоек фальшборта должно крепиться двойными непрерывными угловыми сварными швами.

2.1.2.7 Там, где фальшборты вырезаны для обеспечения прохода или под другое отверстие, по краям отверстия необходимо устанавливать стойки повышенной прочности.

2.1.2.8 Фальшборты должны иметь соответствующее подкрепление и увеличенную толщину в местах прохождения швартовных клюзов.

2.1.2.9 Вырезы в фальшбортах для мостиков или другие отверстия должны быть свободными от участков надстроек.

2.1.2.10 В областях, оснащенных фальшбортами, должны иметься штормовые шпигаты в соответствии с требованиями, приведенными в *2.1.5*. Штормовые шпигаты должны соответствовать требованиям конкретного классификационного общества.

2.1.3 Конструкция леерных ограждений

2.1.3.1 Стойки леерных ограждений, требуемые в соответствии с *2.1.1.1*, должны соответствовать следующим требованиям:

а) постоянно прикрепленные, съемные или шарнирно закрепленные стойки должны устанавливаться на расстоянии примерно 1,5 м друг от друга;
б) как минимум каждая третья стойка должна подкрепляться бракетом или стойкой;
в) съемные или шарнирно закрепленные стойки должны иметь возможность блокировки в вертикальном положении;
г) для случая судов со скругленными планширями опоры должны устанавливаться на листовых элементах палубы;
д) для случая судов с ширстреком стойки не должны крепиться к ширстреку, бортику или непрерывному угольнику ватервейса.

2.1.3.2 Размер отверстий, расположенных ниже самого нижнего уровня поручней и палубы или бортика, должен быть не более 230 мм. Расстояние между другими уровнями не должно превышать 380 мм.

2.1.3.3 Использование проволочных канатов вместо поручней может допускаться только в особых обстоятельствах и только на ограниченных пространствах. В таких случаях необходимо обеспечить натяжение проволочных канатов с помощью талрепов.

2.1.3.4 Использование цепей вместо поручней может допускаться только в случае, если они установлены между двумя зафиксированными стойками и /или фальшбортами.

2.1.4 Дополнительные требования к фальшбортам и леерам, для обеспечения стока нефти

2.1.4.1 В целом открытые леерные ограждения должны устанавливаться на верхней палубе. Могут допускаться листовые фальшборты с непрерывным отверстием высотой 230 мм на нижнем крае при условии, что конструкция позволяет осуществлять ликвидацию разлива нефти на палубе и минимизирует возможность накопления летучего газа.

2.1.4.2 Необходимо предотвращать дальнейшее распространение разливов нефти на палубе в жилые отсеки и подсобные помещения, а также их выброс в море за счет постоянного непрерывного комингса минимальной высотой 100 мм, окружающего грузовую палубу. Вдоль бортов в кормовой оконечности грузового танка минимальная высота комингса должна составлять 200 мм и он должен простираться как минимум на 4,5 м от каждого угла. В области кормовой оконечности грузовой палубы комингс должен иметь минимальную высоту 300 мм и проходить от борта до борта судна.

2.1.4.3 В случае, если установлен непрерывный палубный комингс из угольника ватервейса, он должен быть изготовлен из материала той же прочности и марки, что и обшивка палубы, к которой он прикреплен.

2.1.4.4 Необходимо предусмотреть шпигатные пробки механического типа. Также необходимо предусмотреть средства слива или удаления нефти или загрязненной нефтью воды в комингсе.

2.1.5 Дополнительные требования для более глубокой посадки

2.1.5.1 Суда со свободным бортом в соответствии с табл. А или свободным бортом В-100 (т.е. свободным бортом меньше, чем требуется в соответствии с табл. В-60) должны иметь открытые ограждения минимум на половине длины открытых частей верхней палубы. В качестве альтернативы, если установлен непрерывный фальшборт, минимальная штормовая сливная область должна составлять как минимум 33 % общей площади фальшборта. Штормовая сливная область должна располагаться в нижней части фальшборта.

2.1.5.2 В случае, когда надстройки соединяются проходами, по всей длине открытых частей палубы свободного борта необходимо устанавливать открытое ограждение.

2.1.5.3 Суда со свободным бортом в соответствии с табл. B-60 (т.е. свободным бортом меньше, чем требуется в соответствии с табл. B, однако не меньше, чем требуется в соответствии с табл. B-60) должны иметь минимальную штормовую сливную область, составляющую не менее 25 % общей площади фальшборта. Сливная область должна располагаться в нижней части фальшборта.

2.2 Доступ в танки

2.2.1 Доступ к танкам, находящимся в области расположения грузового танка

2.2.1.1 Доступ к танкам, находящимся в области расположения грузового танка, должен соответствовать требованиям *раздела 5/5*.

2.3 Доступ в носовую часть

2.3.1 Общие сведения

2.3.1.1 Судно должно оснащаться средствами, обеспечивающими экипажу возможность безопасного доступа к носовой оконечности даже в плохих погодных условиях, см. *табл. 11.2.2*.

Таблица 11.2.2

Допускаемые конструкции для обеспечения доступа

Места доступа	**Заявленная высота летнего свободного борта**	**Допускаемые конструкции в соответствии с заявленным типом свободного борта (6)(7)(8)**			
		Тип A	**Тип B–100**	**Тип B–60**	**Тип B & B+**
1	2	3	4	5	6
Доступ к носовой оконечности Между полубаком и носом, или	$> (h_{FB} + h_{ss})$	*a* *e* $f^{(1)}$ $f^{(5)}$			
Между палубной рубкой, в которой находится жилое помещение или навигационное оборудование, или и то и другое, и носом, или В случае рассмотрения судна, палуба которого идет на одном уровне от носа до кормы, между жилым помещением команды и носовой оконечностью судна.	$> (h_{FB} + h_{ss})$	*a* *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$			
Доступ к кормовой оконечности В случае, если палуба судна идет на одном уровне от носа до кормы, расстояние между помещением экипажа и кормовой оконечностью судна.	≤ 3000 мм	*a* *b* $c^{(1)}$ *e* $f^{(1)}$	*a* *b* $c^{(1)}$ $c^{(2)}$ *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$	*a* *b* $c^{(1)}$ $c^{(2)}$ *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$	*a* *b* $c^{(1)}$ $c^{(2)}$ $c^{(4)}$ $d^{(1)}$ $d^{(2)}$ $d^{(3)}$ *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$ $f^{(4)}$
	> 3000 мм	*a* *b* $c^{(1)}$ $d^{(1)}$ *e* $f^{(1)}$	*a* *b* $c^{(1)}$ $c^{(2)}$ $d^{(1)}$ $d^{(2)}$ *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$	*a* *b* $c^{(1)}$ $c^{(2)}$ $c^{(4)}$ $d^{(1)}$ $d^{(2)}$ $d^{(3)}$ *e* $f^{(1)}$ $f^{(2)}$ $f^{(4)}$	

где h_{ss} стандартная высота надстройки в соответствии с *Международной конвенцией о грузовой марке, положение 33*;

h_{FB} высота свободного борта от летней грузовой марки на миделе судна, м, рассчитанная для судна типа A вне зависимости от фактически заявленной высоты свободного борта;

а) хорошо освещенный и вентилируемый проход под палубой шириной в свету не менее 0,8 м и минимальной высотой 2,0 м, обеспечивающий доступ к рассматриваемым зонам и расположенный настолько близко к палубе свободного борта, насколько это возможно;

б) постоянно сооруженный переходный мостик, установленный на уровне палубы надстроек или выше этого уровня в диаметральной плоскости судна или настолько близко к ней, насколько это практически возможно, при условии, что непрерывная платформа нескользящей поверхности имеет ширину не менее 0,6 м и снабжена перекладиной, предотвращающей соскальзывание ноги, и поручнями, установленными с каждой стороны по всей ее длине. Леерные ограждения должны соответствовать требованиям, приведенным в *2.1.3*, за исключением того, что стойки следует устанавливать на максимальном расстоянии друг от друга, равном 1,5 м;

в) постоянная дорожка минимальной шириной 0,6 м, установленная на уровне палубы свободного борта, состоящая из двух рядов поручней, опоры которых должны быть установлены на максимальном расстоянии друг от друга в 3 м. Количество пролетов поручней и их шпации должны соответствовать требованиям, приведенным в 2.1.3. На судах с избыточным надводным бортом типа B комингсы люков высотой, эквивалентной или превышающей 0,6 м, могут рассматриваться как формирующие одну сторону дорожки при условии, что между люками установлены два ряда леерных ограждений.

Продолжение табл. 11.2.2

1	2	3	4	5	6

г) канатный спасательный трос минимальным диаметром 10 мм, поддерживаемый стойками, отстоящими друг от друга приблизительно на 10 м, или одиночный поручень или проволочный трос, прикрепленный к комингсам люков, продолженный и надлежащим образом поддерживаемый между люками;

д) постоянно установленный переходный мостик, расположенный на уровне или выше уровня палубы надстроек в диаметральной плоскости судна или настолько близко к ней, насколько это практически возможно:

- расположенная таким образом, чтобы не препятствовать легкому доступу в рабочие зоны, находящиеся на палубе;
- представляющая собой непрерывную платформу минимальной шириной 1,0 м;
- изготовленная из огнестойкого и нескользкого материала;
- оснащенная перилами, расположенными по обеим ее сторонам по всей ее длине. Перила должны соответствовать требованиям, приведенным в *2.1.3*, за исключением того, что стойки необходимо останавливать с максимальным расстоянием между ними, равным 1,5 м;
- оснащенная перекладиной, предотвращающей соскальзывание ноги, с каждой стороны;
- имеющая отверстия с трапами для спуска на палубу и подъема с нее там, где это необходимо. Максимальное расстояние между такими отверстиями должно составлять 40 м;
- оснащаться укрытиями надежной конструкции, установленными в области переходного мостика с интервалом, не превышающим 45 м, если длина открытой палубы, которую необходимо пересечь, превышает 70 м. Каждое такое укрытие должно позволять находиться там как минимум одному человеку и быть сооружено таким образом, чтобы обеспечить защиту от атмосферных воздействий со стороны носа, левого и правого борта.

е) постоянно и надлежащим образом изготовленный проход, установленный на уровне палубы свободного борта в диаметральной плоскости судна или настолько близко к ней, насколько это возможно, спецификации которого совпадают со спецификациями для постоянного переходного мостика, приведенными выше в д), за исключением перекладин, предотвращающих соскальзывание ноги. На судах с избыточным свободным бортом типа В может допускаться использование комингсов люков в качестве формирующих одну сторону дорожки при условии, что общая высота комингса люка и закрытия люка в закрытом состоянии составляет не менее 1 м и между люками установлены два ряда поручней

Примечания

1. В диаметральной плоскости судна или рядом с ней, или установленные на люках в диаметральной плоскости судна или рядом с ней.
2. Установленные по каждому борту судна.
3. Установленные по одному борту судна, при этом предусмотрена возможность установки по другому борту.
4. Установленные только по одному борту.
5. Установленные на каждой стороне люка настолько близко к диаметральной плоскости, настолько это практически возможно.
6. Во всех случаях, когда смонтированы проволочные тросы, необходимо обеспечить наличие соответствующих устройств, которые позволят поддерживать их в туго натянутом состоянии.
7. Необходимо обеспечить возможность перехода через любые препятствия, если они имеют место, такие как трубы или другая постоянно установленная арматура.
8. В общем случае ширина дорожки или мостика не должна превышать 1,5 м.

Руководящее примечание

Могут допускаться отклонения от некоторых или всех вышеприведенных требований в зависимости от соглашения по каждому конкретному случаю с соответствующей Администрацией государства флага.

3 Несущие конструкции и дополнительные элементы конструкции

3.1 Несущие конструкции палубного оборудования

3.1.1 Общие сведения

3.1.1.1 Информация, относящаяся к несущей конструкции палубного оборудования и арматуры, в соответствии с перечнями, приведенными в *3.1.2 – 3.1.7*, должна быть передана на утверждение.

3.1.1.2 В данном подразделе содержатся требования к размерам связей несущей конструкции и фундаментов следующих единиц оборудования и арматуры:

а) якорные брашпили;
б) стопоры для крепления становых якорей по-походному;
в) швартовные лебедки;
г) палубные краны, мачтовые краны и подъемные мачты;
д) аварийные буксировочные приспособления;
е) швартовные тумбы и кнехты, шкивы для якорных канатов, валы, полуклюзы и кабестаны;
ж) прочее палубное оборудование и арматура, требующие специального утверждения;
з) прочая палубная арматура, не требующая специального утверждения.

3.1.1.3 В случае, когда палубное оборудование испытывает воздействие нескольких наборов нагрузок, таких как эксплуатационная нагрузка и нагрузка, вызываемая сплошной волной, заливающей палубу, эксплуатационную нагрузку и нагрузку, вызываемую сплошной волной, для оценки прочности фундаментов и несущей конструкции следует применять независимо.

3.1.2 Несущие конструкции для якорной лебедки и стопорного устройства для цепи

3.1.2.1 Брашпиль должен быть снабжен соответствующим эффективным основанием и закреплен на палубе. Толщина палубы в области расположения брашпиля и стопорного устройства для цепи якорного устройства должна быть совместима с конструкцией устройства, монтируемого на палубе.

3.1.2.2 В дополнение к обеспечению соответствия требованиям, приведенным в *3.1.2.6*, судостроительное предприятие и изготовитель брашпиля должны обеспечить пригодность фундамента для безопасной эксплуатации и технического обслуживания оборудования брашпиля.

3.1.2.3 Разрывное усилие определяется как минимальная прочность цепи на разрыв.

3.1.2.4 На утверждение необходимо передать следующие чертежи и информацию:

а) подробная информация о несущей конструкции якорной лебедки;
б) подробная информация о конструкции фундамента брашпиля, включая спецификации на материалы для монтажных болтов и соединения фундамента с палубой;
в) подробная информация о конструкции фундамента стопорного устройства для цепи, включая спецификацию на материалы и соединение фундамента с палубой.

3.1.2.5 Также необходимо передать следующую вспомогательную информацию:

а) общий компоновочный чертеж якорного оборудования;
б) расчетные нагрузки в соответствии с *3.1.2.8* и *3.1.2.9* и связанные с ними силы противодействия, действующие на фундамент и несущую конструкцию.

3.1.2.6 Необходимо привести размеры связей несущей конструкции для того, чтобы гарантировать, что для каждого из сценариев нагрузки, определенных в *3.1.2.8* и *3.1.2.9*, расчетные напряжения в несущей конструкции не превышают допустимых уровней напряжений, приведенных в *3.1.2.15–3.1.2.18*.

3.1.2.7 Оценку этих требований следует производить методом упрощенного инженерного анализа, основанного на теории упругой балки, двумерного анализа перекрестных связей или анализа методом конечных элементов с использованием поперечных размеров брутто связей.

3.1.2.8 Необходимо рассмотреть следующие схемы нагрузки для якорных операций в зависимости от применимости:

а) брашпиль при установленном стопорном устройстве для якорной цепи: 45 % предельной прочности;

б) брашпиль при отсутствии стопорного устройства для якорной цепи: 80 % предельной прочности;
в) устройство для якорной цепи: 80 % предельной прочности.
Определение Разрывного усилия приведено в *3.1.2.3*.

3.1.2.9 Для расчетных нагрузок, возникающих в результате нагрузок при заливании водой палубы, в носовой области $0{,}25L$, в рассматриваемых схемах нагружения необходимо рассмотреть следующие силы, см. *рис. 11.3.1*:

$P_x = 200 A_x$ кН, воздействующие по нормали к оси вала;

$P_y = 150 A_y f$ кН, воздействующие параллельно оси вала (направления внутрь судна и наружу судна следует рассматривать отдельно),

где A_x проецируемая передняя площадь, м^2;
A_y проецируемая боковая область, м^2;
$f = 1+B/H$, однако величину данного параметра не следует принимать превышающей 2,5;
B_W ширина брашпиля, измеренная параллельно оси вала, в м. См. *рис. 11.3.1*;
H общая высота брашпиля, м, см. *рис. 11.3.1*.

3.1.2.10 Необходимо рассчитать усилия, возникающие из-за приложения расчетных нагрузок от сплошной волны, заливающей палубу, в болтах, клиньях и стопорных приспособлениях, крепящих брашпиль к палубе. Брашпиль поддерживается рядом групп болтов, N, каждая из которых состоит из одного или большего числа болтов. См. *рис. 11.3.2*.

3.1.2.11 Осевые усилия, R_{xi} и R_{yi}, возникающие в группе болтов (или в болте) i, представляющие собой растяжение по оси в положительную сторону, рассчитываются по следующим формулам:

$$R_{xi} = P_x h x_i A_i / I_x$$

$$R_{yi} = P_y h y_i A_i / I_y$$

$$R_i = R_{xi} + R_{yi} - R_{si},$$

где P_x сила, действующая по нормали к оси вала, кН;
P_y сила, действующая параллельно оси вала, либо по направлению внутрь судна, либо наружу, в зависимости от того, какая из них дает большее усилие на группу болтов i, кН;
h высота центра вала над точкой монтажа брашпиля, см, см. *рис. 11.3.1*;
x_i, y_i координаты x и y группы болтов i от центра тяжести всех групп болтов N, см. Положительны в направлении, противоположном направлении прилагаемой силы;
A_i площадь поперечного сечения всех болтов группы i, см^2;
$I_x = \Sigma A_i x_i^2$ для N групп болтов, см^4;
$I_y = \Sigma A_i y_i^2$ для N групп болтов, см^4;
R_{si} статическая реакция группы болтов i, вызываемая массой брашпиля, кН.

3.1.2.12 Усилия сдвига, F_{xi} и F_{yi}, воздействующие на группу болтов i, и комбинированная результирующая сила F_i, вычисляются по нижеприведенным формулам:

$$F_{xi} = (P_x - C_1 gm)/N;$$

$$F_{yi} = (P_y - C_1 gm)/N;$$

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2},$$

где C_1 коэффициент трения, 0,5;
m масса брашпиля, т;
g ускорение свободного падения, 9,81 м/с^2;
N количество групп болтов.

Рис. 11.3.1
Направления усилий и масс

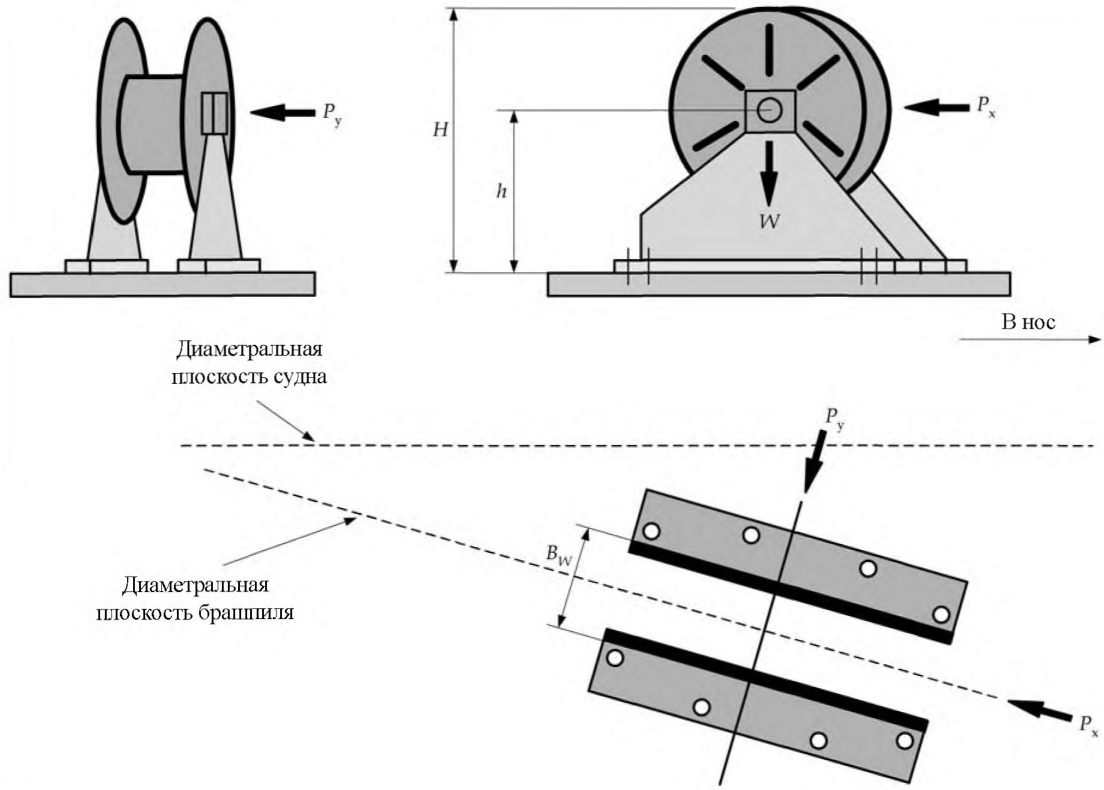
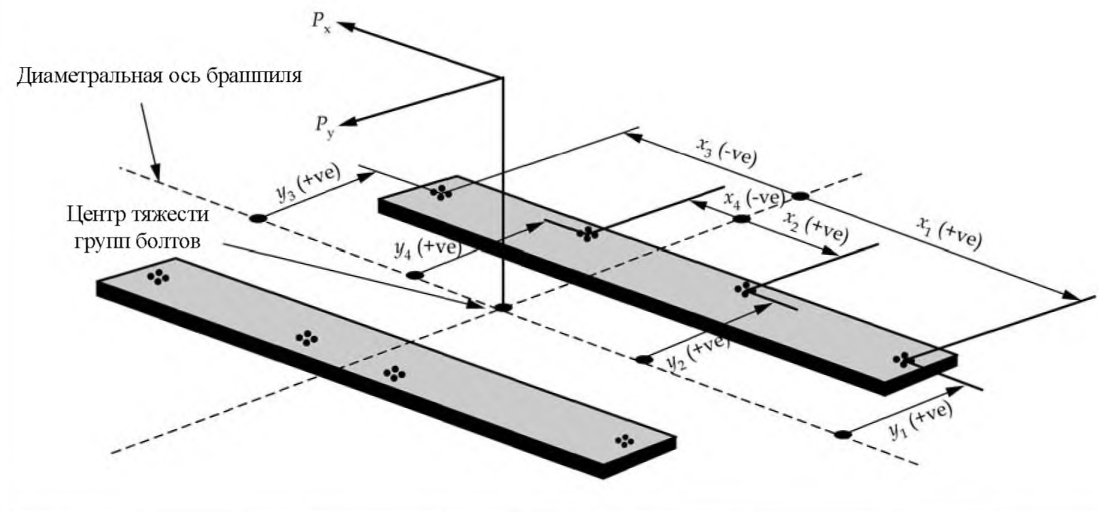


Рис. 11.3.2
Расположение болтовых соединений и правила знаков



3.1.2.13 Результирующие силы, возникающие в результате приложения нагрузок, приведенных в *3.1.2.8* и *3.1.2.9*, необходимо рассматривать при проектировании несущей конструкции.

3.1.2.14 В случае, когда для тормоза брашпиля устанавливается отдельный фундамент, распределение результирующих сил необходимо рассчитывать исходя из предположения о том, что торможение применяется при схемах нагружения (а) и (б), определенных в *3.1.2.8*.

3.1.2.15 Напряжения, возникающие в результате воздействия расчетных нагрузок анкеровки в несущей конструкции, не должны превышать приведенных ниже допустимых значений, рассчитанных на основании полной толщины конструкции:

Нормальное напряжение $1{,}00\,\sigma_{yd}$;

Касательное напряжение $0{,}.58\,\sigma_{yd}$;

где σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.1.2.16 Осевые растягивающие напряжения, возникающие в результате приложения к отдельным болтам расчетных нагрузок от воздействия сплошной волны, заливающей палубу, в каждой группе болтов *i* не должны превышать 50 % условного предела текучести болта при воздействии вышеуказанных сил. Нагрузку необходимо прилагать в направлении цепи. В случае, где установленные болты предназначены для того, чтобы поддерживать эти усилия сдвига в одном или обеих направлениях, эквивалентные напряжения Мизеса не должны превышать 50 % условного предела текучести болта.

3.1.2.17 Горизонтальные напряжения, возникающие в результате воздействия расчетных нагрузок при заливании палубы водой, F_{xi} и F_{yi} могут вызвать реактивные силы в планках сдвига. В случае, когда монтажные фиксирующие приспособления изготовлены с использованием текучих смол, необходимо соответствующим образом учесть это в расчетах.

3.1.2.18 Напряжения, возникающие в результате воздействия расчетных нагрузок при заливании палубы водой в несущей конструкции, не должны превышать допустимые значения, приведенные ниже, рассчитанные на основании полной толщины конструкции:

нормальное напряжение $1{,}00\,\sigma_{yd}$;

касательное напряжение $0{,}58\,\sigma_{yd}$,

где σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.1.3 Несущая конструкция швартовных лебедок

3.1.3.1 Швартовные лебедки должны быть снабжены надлежащим основанием и эффективно закреплены к палубе. Толщины палубы в области расположения швартовных лебедок должны быть совместимы с конструкцией оборудования, монтируемого на палубе.

3.1.3.2 Помимо обеспечения соответствия требованиям, приведенным в *3.1.3.6*, судостроительная верфь и изготовитель швартовной лебедки должны обеспечить пригодность фундамента для безопасной эксплуатации и технического обслуживания оборудования швартовной лебедки.

3.1.3.3 Номинальное тяговое усилие определяется как максимальная расчетная нагрузка, которую может прилагать швартовная лебедка в ходе эксплуатации.

3.1.3.4 Швартовая нагрузка определяется как максимальная нагрузка при эксплуатации, на которую рассчитана швартовная лебедка, и которую следует принимать равной расчетной выдерживаемой нагрузке тормоза или эквивалентной ей.

3.1.3.5 На утверждение необходимо передать следующие чертежи и информацию:

а) подробная информация о несущей конструкции для швартовных лебедок;

б) подробная информация о конструкции фундамента под швартовную лебедку, включая спецификацию на материалы монтажных болтов и соединение фундамента с палубой;
в) расчетные нагрузки в соответствии с *3.1.3.8* и *3.1.3.9* и связанные с ними силы противодействия, действующие на фундамент и несущую конструкцию.

3.1.3.6 Необходимо определить размеры связей несущей конструкции для того, чтобы гарантировать, что для каждого из случаев нагрузки, определенных в *3.1.3.8* и *3.1.3.9*, расчетные напряжения в несущей конструкции не превысят допустимых уровней напряжения, предписанных в *3.1.3.13* и *3.1.3.14* соответственно.

3.1.3.7 Данные требования необходимо оценивать с помощью метода упрощенного инженерного анализа, основанного на теории упругой балки, двумерного перекрытия или анализа методом конечных элементов на основании брутто размеров связей.

3.1.3.8 Необходимо рассмотреть каждый из нижеприведенных вариантов нагрузки на предмет расчетных нагрузок, возникающих при швартовных операциях:

а) швартовная лебедка при максимальном натяжении: 100 % расчетного натяжения;
б) задействован тормоз швартовной лебедки: 100 % выдерживаемой нагрузки;
в) прочность линя: 125% прочности на разрыв швартовного линя (перлиня), требуемой в соответствии с *табл. 11.4.2* для соответствующего номера судового оборудования.

Номинальное тяговое усилие и выдерживаемая нагрузка определены *3.1.3.3* и *3.1.3.4*.

3.1.3.9 Для швартовных лебедок, расположенных в носовой зоне 0,25L, необходимо использовать случаи нагрузки при заливании водой палубы в соответствии с *3.1.2.9*.

3.1.3.10 Для швартовных лебедок, расположенных в носовой зоне 0,25L, результирующие силы, действующие на болты, получаемые на основании нагрузки при заливании водой палубы в соответствии следует рассчитывать в соответствии с *3.1.2.10 – 3.1.2.12*.

3.1.3.11 Результирующие силы, вызываемые приложением нагрузок, указанных в 3.1.3.8 и 3.1.3.9, следует рассматривать в конструкции несущей конструкции.

3.1.3.12 В случае, когда под тормоз швартовной лебедки организуется отдельный фундамент, распределение результирующих сил должно учитывать другой модель нагрузки. Тормоз следует рассматривать только по отношению к усилиям, описанным в *3.1.3.8*, случай нагрузки (б).

3.1.3.13 Напряжения, возникающие в результате возникновения расчетных нагрузок швартовных операций в несущей конструкции, не должны превышать значений, приведенных в *3.1.2.15*.

3.1.3.14 Для швартовных лебедок, расположенных в носовой области 0,25L, напряжения, возникающие в результате воздействия нагрузок от сплошной волны, заливающей палубу, в болтах и несущей конструкции не должны превышать значения, приведенные в *3.1.2.16 – 3.1.2.18*.

3.1.4 Несущие конструкции для кранов, судовых грузовых стрел и подъемных мачт

3.1.4.1 Опорные конструкции кранов, судовых грузовых стрел и подъемных мачт с безопасной рабочей нагрузкой, превышающей 30 кН, или максимальным опрокидывающим моментом, действующим на опорную конструкцию, превышающим 100 кНм, должны соответствовать следующим требованиям.

3.1.4.2 Данные требования распространяются на области соединения с палубой и несущими конструкциями кранов, судовых грузовых стрел и подъемных мачт. В случае, когда кран, судовая грузовая стрела или подъемная мачта требуют сертификации классификационным обществом, конкретным обществом могут предъявляться дополнительные требования.

3.1.4.3 Данные требования не распространяются на следующие объекты:

а) опоры приспособлений для подъема команды или пассажиров, см. *3.1.7.5*;
б) конструкция оснований или стоек подъемных приспособлений над областью соединения с палубой;
в) монтажные фиксирующие болты и их конструкции, которые считаются частью подъемного приспособления.

3.1.4.4 Подъемное устройство определяется как кран, мачтовый кран или подъемная мачта.

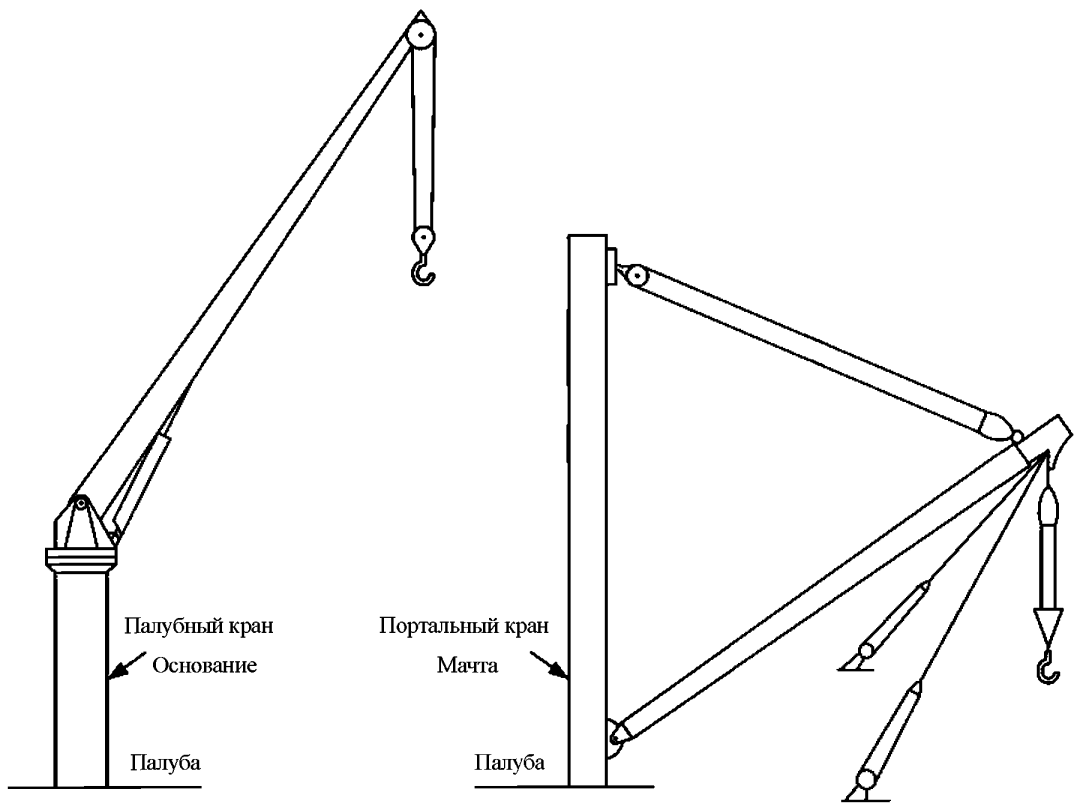
3.1.4.5 Допускаемая рабочая нагрузка определяется как максимальная нагрузка, при которой аттестуется возможность работы подъемного приспособления на подъем при любом заданном вылете стрелы.

3.1.4.6 Собственная масса представляет собой рассчитанную собственную массу-брутто подъемного приспособления, включая массу любых подъемных устройств.

3.1.4.7 Опрокидывающий момент представляет собой максимальный изгибающий момент, рассчитанный в месте соединения подъемного приспособления с конструкцией судна, возникающий в связи с работой подъемного приспособления при безопасной рабочей нагрузке с учетом вылета стрелы приспособления и его собственной.

3.1.4.8 Определения Основания крана и Мачты портального крана приведены на *рис. 11.3.3*.

Рис. 11.3.3
Основание крана и мачта портального крана



3.1.4.9 Следующие схемы и информация передаются на утверждение:

а) подробная схема опорной конструкции подъемного приспособления, включая его соединение с палубой;
б) подробная информация по допустимой рабочей нагрузке, собственной массе, вертикальным силам противодействия и максимальному опрокидывающему моменту в несущей конструкции подъемного приспособления;
в) для эксплуатации в морских условиях – максимально плохое состояние моря, при котором приспособление может использоваться.

3.1.4.10 Также необходимо предоставить следующую информацию:

а) компоновочный чертеж крана/портального крана/подъемной мачты.

3.1.4.11 Настил палубы и подпалубная конструкция должны обеспечивать соответствующую опору портальным кранам, полученную на основании рассчитанных вертикальных нагрузок и максимального опрокидывающего момента. В случае, когда установка подъемного приспособления связана с вырезанием отверстий в палубе, настил палубы должна быть надлежащим образом упрочнена.

3.1.4.12 Настил палубы и подпалубная конструкция должны обеспечивать соответствующую опору основаниям кранов, полученную на основании рассчитанных вертикальных нагрузок и максимального опрокидывающего момента.

3.1.4.13 В целом необходимо выдерживать непрерывность конструкции палубы, а для обеспечения опоры основания крана необходимо предусмотреть глубокие подпалубные элементы.

3.1.4.14 В зависимости от конструкции соединения палубы в месте расположения основания кранов, необходимо обеспечить соответствие следующим дополнительным требованиям:

а) в случае, когда основание непосредственно крепится к палубе без использования надпалубных бракетов, необходимо предусмотреть соответствующую подпалубную конструкцию, расположенную строго симметрично основанию крана. В случае, когда основание крана крепится к палубе без использования бракетов, или если основание крана не является непрерывным вглубь палубы, основание крана и его несущая конструкция под палубой должны свариваться соответствующим методом сварки с полным проплавлением. Конструкция сварных соединений должна соответствовать расчетному напряжению в сварном соединении в соответствии с *3.1.4.21*;

б) в случае, когда основание крана непосредственно крепится к палубе с использованием бракетов, необходимо установить подпалубную несущую конструкцию с тем, чтобы обеспечить удовлетворительное распределение нагрузки и избежать образования твердых мест в конструкции. Надпалубные бракеты могут устанавливаться внутри основания или вне его и должны быть выверены относительно палубных балок и брусьев. Конструкция должна предотвращать образование областей концентрации напряжений, вызываемой резким изменением поперечного сечения. Бракеты и прочие конструкции, непосредственно воспринимающие нагрузку, а также подпалубная несущая конструкция должны привариваться к палубе соответствующим методом сварки с полным проплавлением. Конструкция соединения должна быть адекватная расчетному напряжению в соответствии с *3.1.4.21*.

3.1.4.15 Листы палубной обшивки должны иметь толщину и прочность материала, совместимые с основанием крана. В случае необходимости нужно смонтировать более толстый листовой вкладыш. Нельзя использовать вкладыши в случаях, когда конструкции подвергаются растяжению.

3.1.4.16 Необходимо определить размеры связей несущей конструкции для того, чтобы убедиться в том, что для случаев нагрузки, приведенных в *3.1.4.18* и *3.1.4.19*, расчетные напряжения в несущей конструкции не превышают значения, приведенные в *3.1.4.21*.

3.1.4.17 Данные требования должны оцениваться методом упрощенного инженерного анализа на основании теории упругого бруса, двумерного перекрытия или анализа элемента балки методом конечных элементов с использованием размеров брутто связей.

3.1.4.18 Для подъемных приспособлений, использование которых ограничивается работами в порту, необходимо исследовать следующий сценарий нагрузки:

а) 130 % допустимой рабочей нагрузки, суммированной с собственной массой подъемных приспособлений.

3.1.4.19 Для подъемных приспособлений, которые могут использоваться для морских работ, в целях утверждения необходимо передать следующую информацию:

а) самое плохое состояние моря, при котором будет использоваться подъемное приспособление;
б) наиболее неблагоприятные вертикальные и горизонтальные ускорения;
в) наиболее неблагоприятные ветровые нагрузки для заданного расчетного состояния моря и ветровой обстановки.

Сценарий нагрузки, который должен рассматриваться, должен учитывать эти нагрузки, вызываемые воздействием окружающей среды. Необходимо изучить как минимум следующий сценарий нагрузки:

а) 150 % допустимой рабочей нагрузки, суммированной с собственной массой подъемных приспособлений. В случае, если кабина крана устанавливается над поворотным кольцом, сценарий нагрузки требует особого рассмотрения.

3.1.4.20 Вертикальная сила противодействия и максимальный опрокидывающий момент, соответствующие расчетным нагрузкам, указанным в *3.1.4.18* и *3.1.4.19*, следует рассчитать и использовать при оценке конструкции.

3.1.4.21 Напряжения, вызываемые в несущей конструкции, не должны превышать приведенных ниже допустимых значений на основании полной толщины конструкции:

нормальное напряжение $0{,}67\,\sigma_{yd}$;

касательное напряжение $0{,}39\,\sigma_{yd}$;

где σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.1.4.22 Также необходимо подтвердить способность несущей конструкции сопротивляться потере устойчивости.

3.1.5 Несущие конструкции для компонентов, используемых в составе специальных устройств на танкерах

3.1.5.1 Танкеры дедвейтом 20000 т и более должны оснащаться специальными устройствами для их аварийной буксировки по обоим концам, соответствующими требованиям *Резолюции ИМО MSC 35(63)*.

3.1.5.2 Допустимая рабочая нагрузка аварийных буксирных устройств должна соответствовать *Резолюции ИМО MSC 35(63)*, как указано далее:

а) 1000 кН для судов дедвейтом 20000 т и более, но менее 50000 т;
б) 2000 кН для судов дедвейтом 50000 т и более.

3.1.5.3 Следующие чертежи необходимо передать на утверждение:

а) подробную схему несущей конструкции специального устройства для аварийной буксировки, включая соединение с палубой.

3.1.5.4 Также необходимо передать следующую вспомогательную информацию:

а) подробную информацию и схему устройства для аварийной буксировки, показывающую достаточно информации для того, чтобы удостовериться в расположении и направлении воздействия нагрузок.

3.1.5.5 Палуба в области расположения упрочнений и шкивов должна иметь минимальную полную толщину 15 мм.

3.1.5.6 Система набора корпуса судна должна обеспечивать непрерывность прочности.

3.1.5.7 Система набора конструкции судна в месте расположения устройства для аварийной буксировки должна быть таковой, чтобы избегать резкого измерения формы или поперечного сечения с тем, чтобы минимизировать концентрацию напряжений. Необходимо избегать острых углов и засечек, в особенности в областях высокого напряжения.

3.1.5.8 Необходимо определить размеры связей несущей конструкции для того, чтобы убедиться в том, что для случаев нагрузки, приведенных в *3.1.5.10* и *3.1.5.11*, расчетные напряжения в несущей конструкции не превышают значения, приведенные в *3.1.5.12*.

3.1.5.9 Данные требования должны оцениваться методом упрощенного инженерного анализа на основании теории упругого бруса, двумерного перекрытия или анализа методом конечных элементов с использованием брутто размеров связей.

3.1.5.10 Расчетная нагрузка на соединение точек упрочнения и арматуры с палубой и ее несущей конструкцией должна приниматься равной удвоенной величине безопасной рабочей нагрузки.

3.1.5.11 Оценка конструкции должна учитывать линии воздействия прилагаемой расчетной нагрузки, при этом необходимо принимать в расчет конкретные предлагаемые устройствами. См. *Резолюцию ИМО MSC 35(63)*.

3.1.5.12 Для расчетной нагрузки, указанной в *3.1.5.10* и *3.1.5.11*, напряжения, вызываемые в несущей конструкции и сварных соединениях в месте расположения креплений буксира и буксирных клюзов, не должны превышать приведенных ниже допустимых значений на основании полной толщины конструкции:

нормальное напряжение $1{,}0\,\sigma_{yd}$;

касательное напряжение $0{,}58\,\sigma_{yd}$;

где σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.1.5.13 Также необходимо подтвердить способность несущей конструкции сопротивляться потере устойчивости.

3.1.6 Несущая конструкция для кнехтов и битенгов, клюзов, роульсов, полуклюзов и шпилей

3.1.6.1 В целом судовая арматура (кнехты и битенгов, клюзы, роульсы и полуклюзы) и шпили, используемые для швартовки, буксировки и аварийной буксировки (помимо описанных в *3.1.5*) судна необходимо устанавливать на конструкциях палубы или фальшборта с использованием основания или крепления, спроектированного для этой цели.

3.1.6.2 Необходимо избегать крепления судовой арматуры к ширстрекам или бортам ширстреков в соответствии с требованиями *раздела 8/2.2.5.2* и *раздела 8/2.2.5.3*.

3.1.6.3 В случае, когда клюзы монтируются в фальшборте и нагрузки, возникающие при швартовке или от буксировочных линей, высоки, может потребоваться увеличение толщины фальшбортов. См. также *2.1.2*.

3.1.6.4 На утверждение необходимо передать следующие чертежи:

а) подробный чертеж несущей конструкции для конструкций судовой арматуры и шпиля, включая соединение судовой арматуры и их фундаментов с палубой.

3.1.6.5 Также на утверждение необходимо передать следующую вспомогательную информацию:

а) подробную информацию и чертежи судовой арматуры и шпилей, включая допустимую рабочую нагрузку судовой арматуры и элементов набора, предоставляющие достаточное количество информации для того, чтобы точно определить местоположение и направление действия нагрузки.

3.1.6.6 Система набора корпуса судна должна обеспечивать непрерывность прочности.

3.1.6.7 Система набора конструкции судна в месте расположения судовой арматуры и их фундаментов, а также в месте расположения шпилей должна быть таковой, чтобы избегать резкого измерения формы или поперечного сечения с тем, чтобы минимизировать концентрацию напряжений. Необходимо избегать острых углов и засечек, в особенности в областях высокого напряжения.

3.1.6.8 Необходимо определить размеры связей несущей конструкции для того, чтобы убедиться в том, что для случаев нагрузки, приведенных в *3.1.6.10*, *3.1.6.11* и *3.1.6.12*, расчетные напряжения в несущей конструкции не превышают значения, приведенные в *3.1.6.13*.

3.1.6.9 Данные требования должны оцениваться методом упрощенного инженерного анализа на основании теории упругого бруса, двумерного перекрытия или анализа методом конечных элементов с использованием полных размеров связей.

3.1.6.10 Расчетная нагрузка на соединение элементов судовой арматуры и их фундаментов с палубой и ее несущей конструкции должна основывается на линейной нагрузке, равной наибольшей величине из нижеприведенных требований в зависимости от применимости к конкретной арматуре и области ее использования:

а) для случая нормальной буксировки в порту или маневренных операций – 125 % максимальной нагрузки на буксировочный трос в соответствии с величиной, указанной на схеме буксировочного и швартовного приспособления, или
б) для случая буксировки, отличной от буксировки в порту или маневренных операций, таких как сопровождение – номинальная прочность буксировочного троса на разрыв в соответствии с *табл. 11.4.2* для соответствующего элемента оборудования судна, или
в) для случая швартовных операций – 125% номинальной прочности на разрыв швартова (перлиня) или буксировочного троса в соответствии с *табл. 11.4.2* для соответствующего элемента оборудования судна.

3.1.6.11 Расчетная нагрузка на несущие конструкции для шпилей должна основываться на следующем правиле:

а) 125% максимальной действующей тяги.

3.1.6.12 Оценка конструкции должна учитывать линии действия прилагаемой расчетной нагрузки, при этом принимать в расчет конкретные предлагаемые конструкции, однако, общая нагрузка, прилагаемая в рамках сценариев буксирования и швартования, описанных в *3.1.6.10*, не должна составлять более удвоенной величины расчетной нагрузки на швартов или буксировочный трос. Точку воздействия для усилия, действующего на судовую арматуру, следует принимать как точку закрепления швартова или буксировочного троса или как точку изменения ее направления.

3.1.6.13 Для расчетной нагрузки, указанной в *3.1.6.10*, *3.1.6.11* и *3.1.6.12*, напряжения, вызываемые в несущей конструкции и сварных соединениях в месте расположения упрочнений и шкивов, не должны превышать приведенных ниже допустимых значений на основании полной толщины конструкции:

нормальное напряжение $1{,}00\,\sigma_{yd}$;

касательное напряжение $0{,}58\,\sigma_{yd}$;

где σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала, Н/мм^2.

3.1.6.14 Также необходимо подтвердить способность несущей конструкции сопротивляться потере устойчивости.

3.1.7 Несущие конструкции для прочего палубного оборудования или арматуры, требующих конкретного утверждения

3.1.7.1 Нижеприведенные требования касаются прочих элементов палубного оборудования, которые не охватываются пунктами *3.1.2 – 3.1.6*. Связи и элементы набора несущей конструкции для таких объектов должны соответствовать нижеприведенным требованиям и дополнительным требованиям конкретного классификационного общества.

3.1.7.2 Несущие конструкции объектов, не упомянутых в данном подразделе, будут отдельно рассматриваться конкретным классификационным обществом.

3.1.7.3 На утверждение необходимо передать следующую подробную информации. Эти схемы могут быть отдельными или могут быть включены в главные строительные чертежи:

а) схемы, показывающие несущую конструкцию для палубного оборудования /арматуры;
б) подробную информацию по нагрузкам, воздействующим на конструкцию благодаря палубному оборудованию /арматуре.

3.1.7.4 Необходимо обеспечить наличие несущей конструкции для того, чтобы выдерживать нагрузки, действующие на конструкцию палубы в плоскости и вне ее.

3.1.7.5 Несущие конструкции для подъемных приспособлений для экипажа должны быть предусмотрены следующим образом:

а) в целом, средства спасения экипажа (спасательные шлюпки, спасательные плоты и спасательные катера) должны располагаться в специально для этого сооруженном ложементе, фундаменте или приспособлении для спуска. Расчетная нагрузка, воздействующая на конструкцию судна, должна устанавливаться поставщиком средства спасения экипажа;
б) несущая конструкция должна соответствовать расчетным нагрузкам. Необходимо также обеспечить местное подкрепление и местное увеличение толщины обшивки. Могут потребоваться глубокие несущие элементы. Там, где это применимо, также необходимо учитывать дополнительные государственные и международные требования;
в) в области расположения анкеров или подъемного оборудования необходимо предусмотреть несущую конструкцию для лифтов для подъема экипажа;
г) в области расположения анкеров забортных трапов необходимо обеспечить несущую конструкцию для забортных трапов.

3.1.7.6 Опора для конструкций мачт, оснащенных навигационными приборами, должна быть обеспечена следующим образом:

а) необходимо обеспечить адекватные первичные несущие элементы в форме переборок, глубоких балок или поперечин. Такие элементы конструкции должны быть установлены под или рядом с конструкцией мачты;

б) для того, чтобы распределять нагрузки от конструкции мачты на основныее несущие элементы, под конструкцией мачты, формирующей крепление мачты к палубе, необходимо предусмотреть подпалубные подкрепительные элементы;

в) может потребоваться увеличение толщины палубы для того, чтобы обеспечить адекватную толщину для привариваемых дополнительных элементов.

3.1.7.7 Несущая конструкция для волноотводов должна быть спроектирована таким образом, чтобы выдерживать ту же самую расчетную нагрузку, что и сам волноотвод. Она должна быть пригодна для распределения нагрузок от волноотвода в главные несущие элементы судна. В месте расположения конструкции волноотвода, формирующей соединение с палубой, должно быть предусмотрено эффективное подкрепление палубы.

3.1.8 Несущие конструкции и монтаж прочей палубной арматуры, которые не требуют особого утверждения

3.1.8.1 Необходимо учесть следующие общие требования к конструкции несущей конструкции и монтажу прочей палубной арматуры, которые вызывают действие относительно небольших нагрузок на конструкцию судна и не требуют особого утверждения. Конструкции таких элементов не требуют утверждения схем классификационным обществом.

3.1.8.2 Местоположения несущих конструкций должны быть определены таким образом, чтобы крепление к конструкции судна осуществлялось без отверстий в палубе и концентрации напряжений, таких как подпятники концевых бракетов. Конструкция опор должна быть такой, чтобы крепление к палубе минимизировало формирование «жестких точек».

3.1.8.3 Несущая конструкция распределительной коробки грузовой системы представляет собой самодостаточную сборную конструкцию, предназначенную для того, чтобы поддерживать основной трубопровод, используемый для загрузки и разгрузки судна. Конструкция несущей конструкции распределительной коробки грузовой системы должна обеспечивать распределение нагрузок, прилагаемых к трубопроводу во время погрузки и выгрузки груза из конструкции судна. Для того, чтобы обеспечить это, соединение несущей конструкции распределительной коробки грузовой системы, как правило, выравнивается с элементами подкрепления основной конструкции корпуса судна. В случае, когда это практически неисполнимо, необходимо установить дополнительное подкрепление для того, чтобы избежать появления «жестких точек» конструкции. Необходимо уделить внимание подробному проекту конструкции, представляющей собой элемент крепления к палубе, для того, чтобы минимизировать воздействие изменения сечения.

3.2 Докование

3.2.1 Приспособления для постановки в док

3.2.1.1 Само по себе приспособление для постановки в сухой док подробно не описывается в настоящих Правилах.

3.2.1.2 Конструкции донных балок должны быть надлежащим образом подкреплены, чтобы выдержать усилия, вызываемые при постановке судна в сухой док.

3.2.1.3 Для судов необычной формы или в случае, если судовладелец предъявляет особые требования к прочности при постановке в док, судостроительному предприятию может понадобиться выполнить дополнительные расчеты. Такие расчеты не входят в объем классификации, однако могут быть рассмотрены при соответствующем запросе.

3.2.2 Доковый план

3.2.2.1 Рекомендуется уделить внимание разработке докового плана судна. Доковый план должен показывать все и каждое предположение, сделанное в рамках проектирования, включая, но не ограничиваясь расположением доковых блоков, максимальную допустимую загрузку во время докования и соответствующую нагрузку на каждый блок.

3.2.2.2 Доковый план не требует утверждения обществом в качестве условия классификации.

Руководящее примечание:
1. Рекомендуется не устанавливать донные заглушки в области расположения горизонтального листа киля.

3.3 Скуловые кили

3.3.1 Конструкция и материалы

3.3.1.1 Скуловой киль должен изготавливаться из материала с такой же способностью к растяжению, что и скуловой пояс, к которому он крепится.

3.3.1.2 Скуловые кили конструкции, отличной от изображенной на *рис. 11.3.4*, будут подлежать особому рассмотрению.

3.3.1.3 План всех скуловых килей должен быть передан на утверждение прочности и марок материалов, сварных соединений и рабочего проекта.

3.3.1.4 Конструкция скуловых килей должна гарантировать, что разрушение стенки киля произойдет до разрушения нижнего бруса. В целом это можно обеспечить за счет толщины стенки скулового киля, не превышающей толщины нижнего бруса.

3.3.2 Лежни

3.3.2.1 Скуловые кили, там, где они устанавливаются, должны крепиться к обшивке корпуса с помощью лежня, или вкладыша, как показано на *рис. 11.3.4* и *11.3.5*. В целом лежень должен быть непрерывен.

3.3.2.2 Минимальная полная толщина лежня должна равняться полной толщине пояса скулы или 14 мм в зависимости от того, какая из величин меньше.

3.3.2.3 Прочность материала лежня должна быть аналогичной прочности материала пояса скулы, к которой он крепится; он должен быть изготовлен из марки стали, приведенной в *разделе 6/1.2*, *табл. 6.1.2* и *6.1.3* для поясов скул.

3.3.3 Информация о концах

3.3.3.1 Концы скулового киля должны быть надлежащим образом постепенно уменьшены и заканчиваться на внутреннем элементе жесткости. Стандартные конструкции, соответствующие требованиям данного подраздела, показаны на *рис. 11.3.5*. Альтернативные конструкции будут допускаться при условии, что они будут сочтены эквивалентными.

3.3.3.2 Концы лежня и скулового киля должны быть сведены на конкурс или скруглены. В случае, когда концы сведены на конус, конусы должны быть постепенными с минимальным соотношением 3:1. См. рис. *11.3.5(а)*, *11.3.5(б)*, *11.3.5(г)* и *11.3.5(д)*. В случае, когда концы скруглены, оконечности должны соответствовать приведенным на *рис. 11.3.5(в)*. Наличие вырезов в рамном шпангоуте скулового киля в пределах зоны «А», см. *рис. 11.3.5(б)* и *11.3.5(д)*, не допускается.

3.3.3.3 Конец элемента рамного шпангоута скулового киля должен находиться на расстоянии не менее 50 мм и не более 100 мм от конца лежня. См. *рис. 11.3.5(а)* и *11.3.5(г)*.

3.3.3.4 Внутренний поперечный несущий элемент должен располагаться между концами элемента рамного шпангоута скулового киля и точки, расположенной на середине расстояния между элементом рамного шпангоута скулового киля и концом лежня. См. *рис. 11.3.5(а)*, *11.3.5(б)* и *11.3.5(в)*.

3.3.3.5 В случае, когда внутреннее продольное ребро жесткости установлено в соответствии с элементом рамного шпангоута скулового киля, продольное ребро жесткости должно доходить как минимум до ближайшего поперечного элемента, расположенного в нос и в корму от зоны «А». См. *рис. 11.3.5(б)* и *11.3.5(д)*. В этом случае требование, приведенное в *3.3.3.4*, касательно внутренней поперечной несущей конструкции не действует.

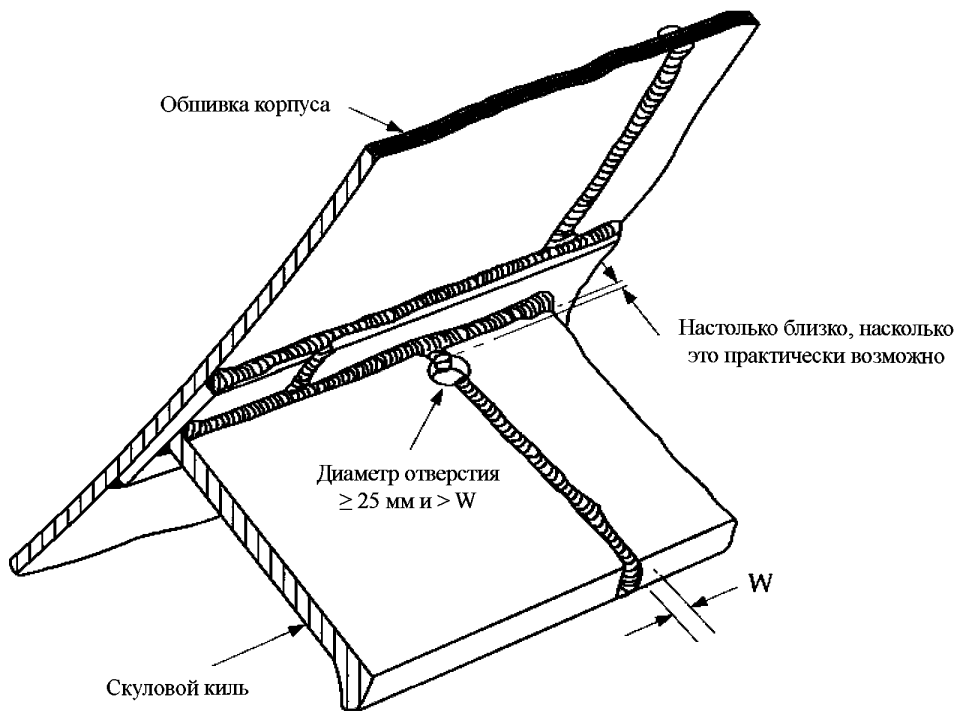
3.3.4 Сварка

3.3.4.1 Лежень должен соединяться с обшивкой корпуса непрерывным угловым сварным швом, а скуловой киль с лежнем – с помощью легкого непрерывного сварного шва в соответствии с *табл. 11.3.1*.

3.3.4.2 Стыковые сварные швы скулового киля и лежня должны находиться на достаточном удалении друг от друга, а также от стыковых сварных швов обшивки корпуса. В общем, стыковые сварные швы обшивки корпуса в месте расположения лежня должны быть заподлицо, а стыковые сварные соединения лежня должны быть заподлицо в области расположения скулового киля. Необходимо избегать непосредственного соединения между стыковыми сварными швами лежня и обшивки корпуса, а также между стыковыми сварными соединениями скулового киля и лежня.

3.3.4.3 В целом следует избегать дугообразных и иных вырезов. В стыковых сварных соединениях скулового киля должны быть просверлены отверстия для остановки трещин настолько близко к лежню, насколько это практически возможно. Диаметр отверстия должен превышать ширину стыкового сварного шва; отверстие должно быть как минимум 25 мм в диаметре, как показано на *рис. 11.3.4*. В случае, когда стыковые сварные швы подверглись неразрушающему обследованию, высверливание отверстия для остановки трещин можно опустить.

Рис. 11.3.4
Конструкция скулового киля



3.3.4.4 Сварные швы по концам лежня и обшивки корпуса, а также на конце элемента рамного шпангоута скулового киля и соединения лежня в пределах Зоны «В», см. рис. 11.3.5(a) и 11.3.5(d) должны иметь толщину полезного вылета в соответствии с требованиями табл. 11.3.1 для области «На концах». Кромки лицевых поверхностей этих швов должны быть сошлифованы так, чтобы они гладко переходили в основные металлы.

Рис. 11.3.5 (a) – (в)
Конструкция концов скулового киля

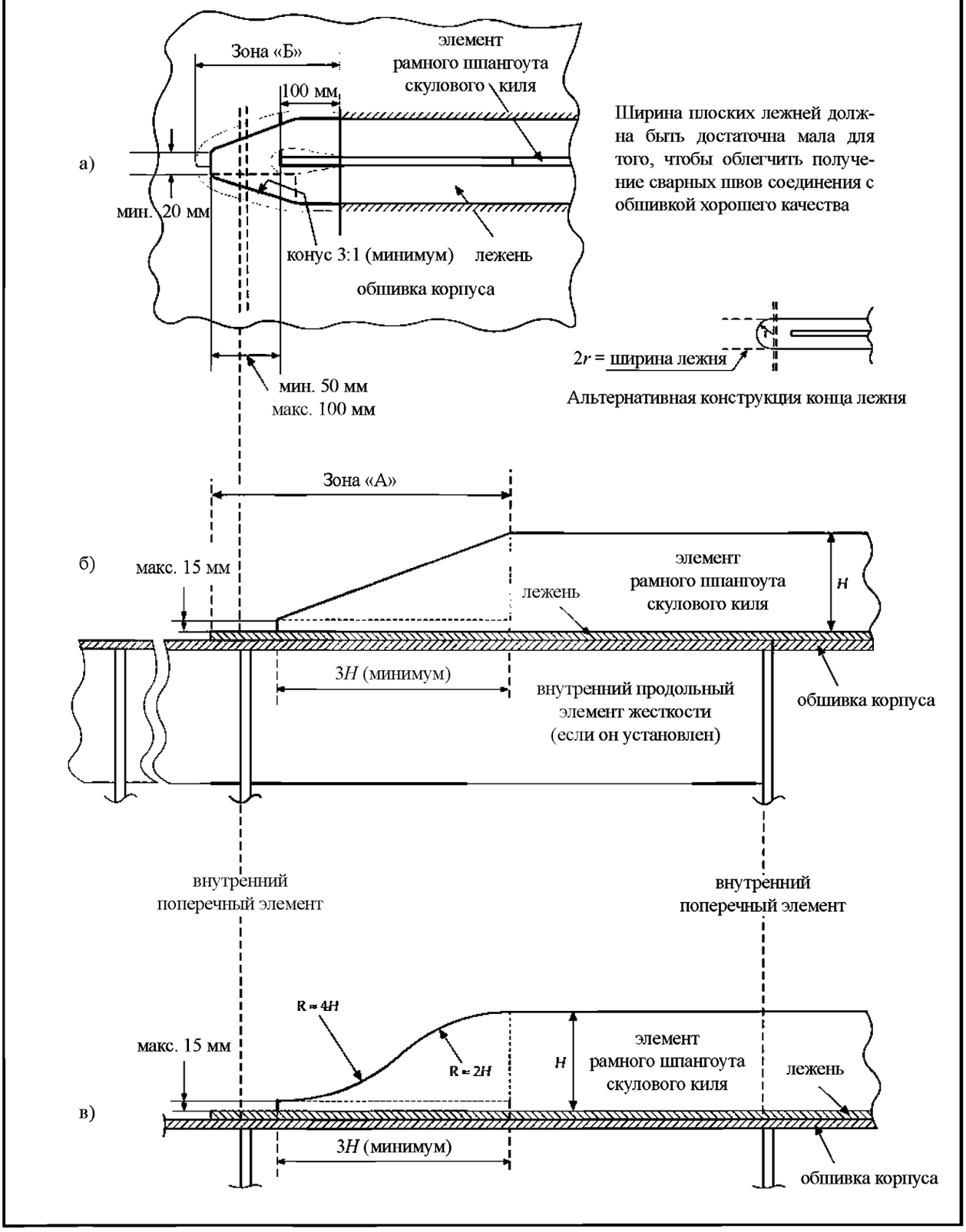


Рис. 11.3.5 (г) – (д)
Конструкция концов скулового киля

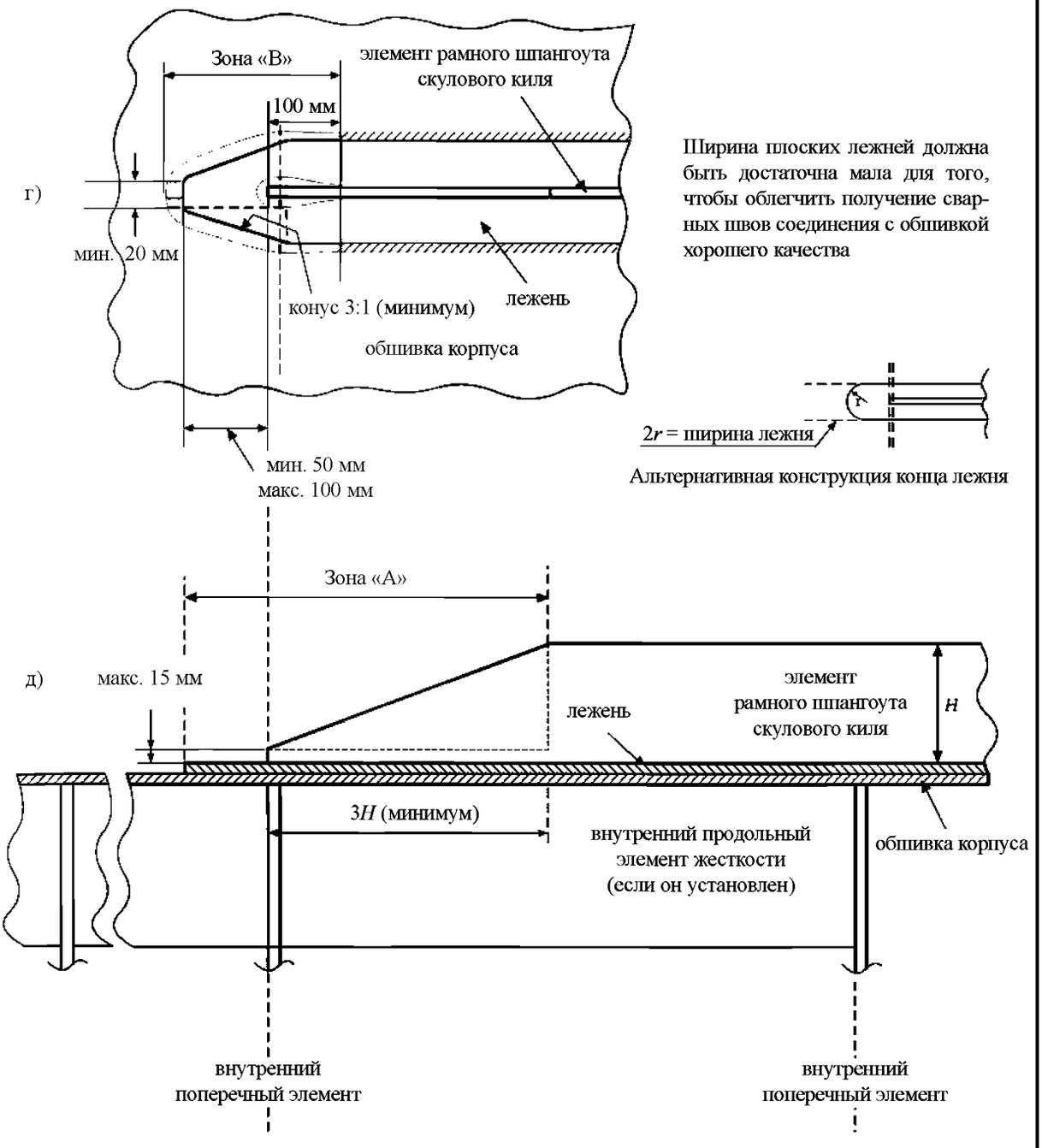


Табл. 11.3.1

Требования к сварке концевых соединений скулового киля

Толщина полезного вылета, мм	Соединяемые элементы конструкции	
	По концам	В любых других областях
Соединение лежня с обшивкой корпуса	$0{,}44\,t_{grs}$	$0{,}34\,t_{grs}$
Соединение элемента рамного шпангоута скулового киля с лежнем	$0{,}34\,t_{grs}$	$0{,}21\,t_{grs}$
где t_{grs} полная толщина закрепляемого элемента, мм		

4 Оборудование

4.1 Характеристика снабжения

4.1.1 Требования

4.1.1.1 Якоря и якорные цепи должны соответствовать *табл. 11.4.1*, а количество, масса и размеры их должны определяться характеристикой снабжения (*EN*), вычисляемым по следующей формуле:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2\,b\,h_{dk} + 0{,}1\,A,$$

где Δ объемное водоизмещение, т, в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.7.1*;

B ширина судна, м, в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.3.1*;

h_{dk} $h_{FB} + h_1 + h_2 + h_3 + \ldots$, как показано на *рис. 11.4.1*. При расчете h можно пренебречь отклонением от курса, изгибом и качкой;

h_{FB} высота свободного борта от летней грузовой марки по миделю судна, м;

$h_1, h_2, h_3 \ldots h_n$; высота диаметральной плоскости каждого яруса рубок, ширина которых превышает $B/4$, м

A площадь парусности, надстройки и палубных рубок над летней грузовой ватерлинией, для тех из них, которые попадают в пределы длины L, м^2;

Надстройки или палубные рубки, ширина которых меньше либо равна $B/4$ в любой точке, могут быть исключены. Что касается определения A, когда экран или фальшборт имеют высоту более 1,5 м, область, показанная на *рис. 11.4.2* как A_2, должна быть включена в A;

L длина судна в соответствии с определением, приведенным в *разделе 4/1.1.1.1*.

Рис. 11.4.1
Эффективные высоты палубных рубок

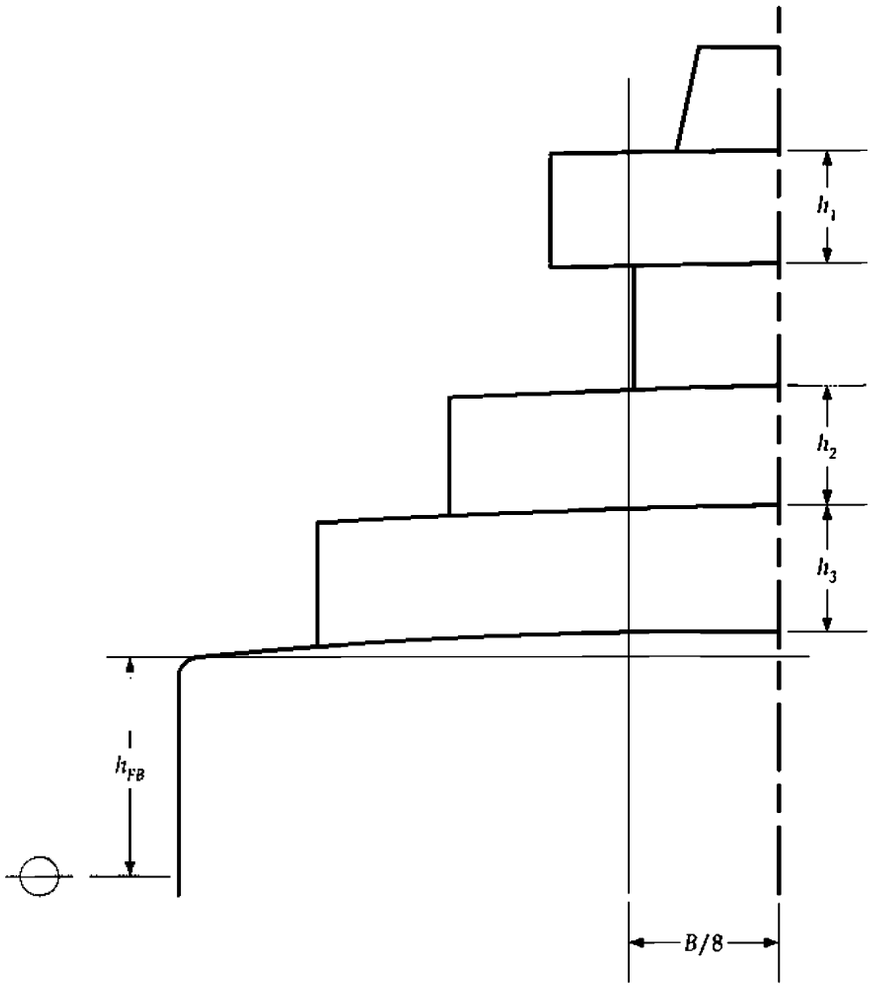
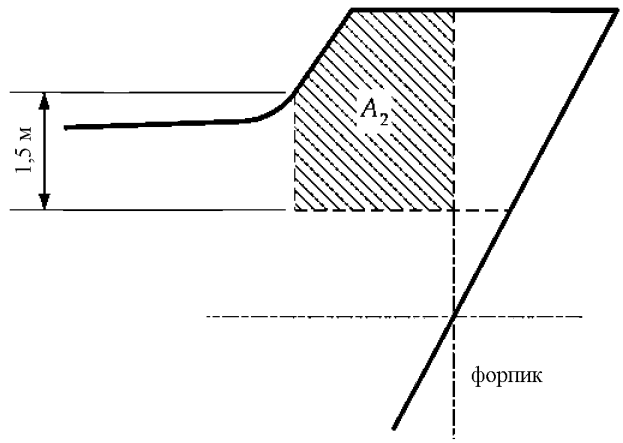


Рис. 11.4.2
Профили экранов и фальшбортов



4.2 Якоря и швартовное оборудование

4.2.1 Общие сведения

4.2.1.1 Нижеприведенная спецификация оборудования для постановки на якорь предназначена для временной швартовки судна в пределах порта или защищенной акватории, где судно ожидает подхода к причалу, прилива и т.д.

4.2.2 Ограничения

4.2.2.1 Предписываемое оборудование не предназначено для того, чтобы быть адекватным для удерживания судна вдали от полностью открытых берегов в плохую погоду, либо для остановки движущегося или дрейфующего судна. В таких условиях нагрузки на оборудование для постановки на якорь возрастают до такой степени, что компоненты этого оборудования могут быть повреждены или утеряны.

4.2.2.2 Предписываемое оборудование для постановки на якорь предназначено для того, чтобы удерживать судно в хорошо удерживающем грунте при надлежащих условиях, позволяющих избежать волочения якоря. При плохо удерживающем грунте способность якорей удерживать судна значительно снизится.

4.2.3 Допущения

4.2.3.1 Формула характеристики снабжения (EN) для требуемого оборудования для постановки судна на якорь основывается на предполагаемой скорости течения, равной 2,5 м/с, скорости ветра, равной 25 м/с, и охвате якорной цепи между 6 и 10. Охват якорной цепи определяется как отношение длины стравленной цепи и глубины воды.

4.2.3.2 Предполагается, что при нормальных обстоятельствах судно будет использовать только один становой якорь и якорную цепь за один раз.

4.2.4 Документация

4.2.4.1 На одобрение необходимо передать следующие схемы и информацию:

а) характеристика снабжения;

б) перечень оборудования, включая тип якоря, марку якорной цепи, тип и разрушающую нагрузку стального и синтетического тросов;
в) конструкция якоря, если она отличается от стандартных или ранее утвержденных типов якорей, включая спецификацию на материалы;
г) конструкция лебедки, включая спецификации материалов для устройства подъема цепи, валов, муфт и тормозов;
д) конструкция стопорного устройства для цепи и спецификация на материалы;
е) схемы приспособлений для аварийной буксировки и швартовки и применимые данные по безопасной рабочей нагрузке, а также прочая информация, связанная с приспособлениями для аварийной буксировки и швартовки, которые будут находиться на борту судна для информации капитана.

4.2.5 Якоря

4.2.5.1 Два становых якоря должны соединяться с якорной цепью и быть убраны так, чтобы обеспечить их готовность к эксплуатации.

4.2.5.2 Рекомендуется обеспечить третий якорь в качестве запасного станового якоря; он включен в перечень только в качестве наставления и его наличие не требуется в качестве условия классификация.

4.2.5.3 Якоря должны иметь одобренную конструкцию. Конструкция головных частей якорей должна быть таковой, чтобы минимизировать концентрацию напряжений. В частности, радиусы на всех частях литых головных частей якоря должны быть как можно более большими, в особенности там, где имеет место значительное изменение сечения.

4.2.5.4 Масса становых якорей, приведенная в *табл. 11.4.1*, приводится для якорей равной массы. Масса отдельных якорей может варьироваться на 7 % в большую или меньшую сторону от приведенной в таблице величины при условии, что общая масса всех якорей составляет не менее требуемой величины для якорей равной массы.

4.2.6 Обычные якоря

4.2.6.1 Якоря должны быть бесштокового типа. Масса головной части бесштокового якоря, включая штыри и фитинги, должна составлять не менее 60 % общей массы якоря.

4.2.7 Якоря повышенной держащей силы (ПДС)

4.2.7.1 В случае, когда это согласовано с судовладельцем, может быть рассмотрено использование якорей особых типов. В случае, когда они доказана высокая держащая сила якоря, может быть рассмотрено некоторое смягчение базового требования к массе якоря до максимум 25 % от массы, указанной в *табл. 11.4.1*.

4.2.7.2 Якорь, представляемый на одобрение в качестве якоря повышенной держащей силой (ПДС), должен пройти испытание в море для того, чтобы продемонстрировать, что его держащая сила как минимум в два раза превышает утвержденную для стандартного бесштокового якоря той же самой массы.

4.2.7.3 Если на одобрение представлены якоря нескольких типов размеров, испытанию должны подвергаться как минимум два из них. Меньший из двух якорей должен иметь массу, равную не менее одной десятой массы большего якоря. Больший из двух испытываемых якорей должен иметь массу, составляющую не менее одной десятой массы самого большого якоря, представленного на одобрение.

4.2.7.4 Каждое испытание должно включать в себя сравнение как минимум двух якорей, одного обычного бесштокового якоря и одного якоря (ПДС). Массы якорей должны быть примерно одинаковы.

4.2.7.5 Испытания должны проводиться как минимум на трех различных типах грунта, которые могут представлять собой мягкую грязь или ил, песок или гравий, а также твердую глину или аналогичным образом спрессованный материал.

4.2.7.6 Испытания, как правило, выполняются с помощью буксира. Тягу следует измерять с помощью динамометра или определять на основании последних поверенных данных тягового усилия как функции количества оборотов гребного винта.

4.2.7.7 Диаметр якорных цепей, соединенных с якорями, должен соответствовать требованиям для соответствующего количества элементов оборудования. Во время испытания длина якорной цепи на каждом якоре должна быть достаточна для того, чтобы обеспечить приблизительно горизонтальное натяжение на якоре. В целом, горизонтальное расстояние между якорем и буксиром, равное как минимум 10 величинам глубины воды, будет достаточно.

4.2.7.8 Якоря высокой держащей силы должны иметь конструкцию, которая гарантирует, что якоря эффективным образом будут удерживаться за грунт моря без ненужной задержки и будут оставаться в устойчивом положении для усилий удержания, величины которых доходят до значений, требуемых в *4.2.7.2*, независимо от угла или положения, при котором они изначально располагаются на дне при отдаче их из палубного клюза обычного типа. Может потребоваться демонстрация этих способностей.

4.2.7.9 Одобренная конструкции якорей повышенной держащей силы может быть дано как общее типовое одобрение и приведено в документе, публикуемым обществом.

4.2.8 Якорные цепи

4.2.8.1 Общая длина цепи, которую необходимо иметь на борту судна, в соответствии с *табл. 11.4.1*, должна быть поделена приблизительно пополам между двумя становыми якорями.

4.2.8.2 В случае, когда судовладелец требует установки оборудования для постановки судна на якорь на глубинах, превышающих 82,5 м, в обязанности судовладельца входит спецификация требуемой надлежащей общей длины якорной цепи. В этом случае можно рассмотреть деление якорной цепи на две неодинаковой длины.

4.2.8.3 Якорные цепи, которые должны являться частью оборудования, не должны использоваться в качестве контрольных цепей при спуске судна на воду.

4.2.9 Цепные ящики

4.2.9.1 Цепной ящик должен иметь соответствующую вместимость и быть подходящей формы, чтобы обеспечить надлежащую укладку якорной цепи и обеспечить свободное прохождение цепи через клюзы, когда цепь полностью сложена. Цепи правого и левого бортов должны иметь раздельные отсеки.

4.2.9.2 Границы и отверстия для доступа в цепной ящик должны быть герметичными. Необходимо принять меры для того, чтобы минимизировать возможность затопления ящика для якорной цепи в плохую погоду. Также необходимо обеспечить соответствующие приспособления для осушения ящика для якорной цепи.

4.2.9.3 Палубные клюзы должны быть надлежащего размера и оснащаться кромками, предотвращающими трение.

4.2.9.4 Ящики для якорных цепей, установленные в корму от таранной переборки, должны быть герметичны, а отсек должен эффективно осушается.

4.2.10 Крепление и аварийная отдача якорной цепи

4.2.10.1 Необходимо принять меры для крепления и отдачи коренного конца цепи, расположенного внутри судна, на какой-либо конструкции. Это крепление должно быть способно выдержать усилие, составляющее не менее 15 %, но не более 30 % минимальной прочности на разрыв якорной цепи в смонтированном состоянии. Конструкция, к которой оно крепится, должно соответствовать этой нагрузке.

4.2.10.2 Крепление цепи к судну должно осуществляться таким образом, чтобы в случае необходимости, когда необходимо пожертвовать якорем и якорной цепью, якорную цепь можно было отдать с легкодоступного места, расположенного за пределами цепного ящика якорной цепи. Предлагаемое приспособление для отдания якорной цепи должно быть сделано настолько герметичным, насколько это возможно.

4.2.11 Цепные стопоры

4.2.11.1 Необходимо обеспечить средства, позволяющие зафиксировать каждую якорную цепь, как только она была вытравлена. Это, как правило, достигается с помощью стопорных устройств для цепи.

4.2.11.2 Фиксирующие приспособления стопорных устройств для якорных цепей должны быть способны выдержать нагрузку, равную 80 % разрушающей нагрузки якорной цепи в соответствии с требованиями, приведенными в *4.2.8*, без возникновения остаточной деформации.

4.2.12 Испытания

4.2.12.1 Все якоря и якорные цепи необходимо испытывать на стендах и машинах, признанных обществом, под наблюдением инспекторов или других представителей общества и согласно соответствующим требованиям к материалам конкретного классификационного общества.

4.2.12.2 Должны иметься сертификаты об испытаниях, содержащие информацию о массах якорей, или размере и массе якорной цепи и приложенных испытательных нагрузках. Эти сертификаты должны быть проверены инспектором при установке якорей и якорных цепей на борту судна.

4.2.12.3 Стальные и синтетические тросы должны испытываться согласно соответствующим требованиям к материалам конкретного классификационного общества.

4.2.13 Швартовные и буксировочные тросы

4.2.13.1 За исключением случаев, приведенных в *4.3*, швартовные и буксировные тросы не являются требуемым условием для классификации. Швартовные и буксировные тросы, перечисленные в *табл. 11.4.2*, даны в качестве руководства. В случае, когда приведенная в таблице прочность на разрыв превышает 490 кН, прочность на разрыв и количество отдельных тросов, приведенных в таблице, могут быть изменены, при условии, что их результат должен иметь прочность на разрыв и количество перлиней, приведенное в таблице.

4.2.14 Увеличенное количество или прочность швартовных тросов

4.2.14.1 На борту судна, которое регулярно швартуется у открытых причалов, рекомендуется обеспечить швартовные тросы, общая прочность которых равна как минимум двум величинам ее, указанным в *4.2.13.1*.

4.2.14.2 Также необходимо обратить внимание на *Руководство по причальному оборудованию* Международного морского форума нефтедобывающих компаний, в котором можно найти указания по швартовке танкеров в открытых областях.

4.2.15 Альтернативное швартовное устройство

4.2.15.1 Чтобы обеспечить легкость эксплуатации, синтетические тросы должны иметь диаметр не менее 20 мм.

4.2.15.2 Все тросы, прочность которых на разрыв превышает 736 кН, которые используются при нормальных швартовных операциях, должны храниться и эксплуатироваться на соответствующим образом спроектированных лебедках. Альтернативные методы хранения должны должным образом учитывать сложности, возникающие при ручной работе с тросами, прочность которых на разрыв превышает 490 кН. В таких случаях прочность на разрыв и число отдельных тросов, приведенное в *табл. 11.4.2*, может быть изменено, однако их результат должен иметь прочность на разрыв и количество тросов, приведенное в таблице. Однако, количество швартовных тросов должно составлять не менее шести, и ни один трос не должен иметь прочность на разрыв, составляющую менее 490 кН.

4.2.16 Закрепление швартовных тросов

4.2.16.1 Необходимо обеспечить средства, позволяющие адекватным образом фиксировать швартовы на борту судна. Рекомендуется, чтобы общее количество швартовных тумб, надлежащим образом расположенным по обоим бортам судна, и /или суммарная тормозящая и удерживающая способность швартовных лебедок позволяла удерживать как минимум 1,5 величины суммарного разрывного усилия швартовных тросов.

4.2.17 Кнехты и биенги, киповые планки якорных канатов, роульсы и клюзы

4.2.17.1 Прочность судовых приспособлений, установленных на носу, по бортам и в корме и используемой для эксплуатации в нормальных и /или аварийных условиях, должна соответствовать требованиям, приведенным в *4.2.17.2* и *4.2.17.3*. Требования к несущим конструкциям перечисленного судового оборудования приведены в *3.1.6*.

4.2.17.2 Судовые приспособления должны проектироваться и изготавливаться в соответствии с признанными стандартами (например, ISO3913 Судостроение. Кнехты сварные стальные). Расчетная нагрузка, используемая для оценки судовых приспособлений и их креплений к корпусу, должна соответствовать 3.1.6.

4.2.17.3 В отношении судового оборудования, используемого для швартовки и/или аварийной буксировки, действуют следующие требования по допускаемой рабочей нагрузке (SWL):

а) SWL не должна превышать 80 % расчетной нагрузки, приведенной в *3.1.6.10(а)* и *3.1.6.10(в)*, или 100 % расчетной нагрузки, приведенной в *3.1.6.10(б)*, в зависимости от применимости;
б) SWL каждого оборудования должна быть промаркирована наплавленным валиком или другим эквивалентным способом;
в) SWL и назначение оборудования, т.е. операции швартовки, буксировки или аварийной буксировки, либо какая-либо комбинация этих операций, должна быть указана на каждом из планов оборудования для буксировки /аварийной буксировки и швартовки, имеющихся на борту судна для того, чтобы предоставить информацию капитану судна. Планы устройств или информация должны включать в себя информацию по каждому элементу оборудования, указывающую их местоположение на борту судна, тип оборудования, допустимую рабочую нагрузку, назначения, метод приложения нагрузки и предельный угол наклона троса по отношению к оси устройства, а также исчерпывающим образом запрещающую использование швартовных и /или буксировочных тросов в целях, отличных от их предназначения и /или другие характеристики;
г) требования данного параграфа действуют в отношении концепции единого основания (не более одного поворачивания одной цепи).

4.2.18 Швартовные лебедки

4.2.18.1 Конструкция и мощность швартовной лебедки не подлежат утверждению обществом в качестве условия классификации. Схемы и информация о швартовных лебедках должны передаваться для утверждения несущей конструкции, расположенной в месте нахождения лебедки, и соединения швартовной лебедки с ее фундаментом, а также соединения фундамента с палубой в соответствии с требованиями, приведенными в *3.1.3*.

Руководящее примечание:
Швартовные лебедки должны оснащаться колодочными тормозами, прочность которых должна быть достаточна для предотвращения разматывания швартовного троса в случае, когда натяжение троса равняется 80 % этой величины для троса, прочность которого на разрыв равна наибольшей из максимальных прочностей на разрыв троса, который предполагается использовать в течение всего срока службы судна, или троса в соответствии с *табл. 11.4.2* для снабжения, установленного на первом слое барабана лебедки.

4.2.19 Брашпиль

4.2.19.1 Судно должно быть оснащено брашпилем достаточной мощности, подходящим для размера якорной цепи, в соответствии с требованиями классификационного общества. В случае, если судовладелец требует установки оборудования, которое значительно превосходит требования Правил, соответствующее увеличение мощности лебедки является ответственностью судовладельца.

4.2.19.2 Брашпиль должен обеспечивать возможность поднятия любой якорной цепи.

4.2.19.3 Конструкция брашпиля должна быть такой, чтобы обеспечить адекватный доступ к палубному клюзу для установки крышки или сальника достаточной прочности на трубу перлиня. Приемлемость эквивалентных приспособлений, минимизирующих возможность затопления цепного ящика или полубака при плохих погодных условиях, подлежит особому рассмотрению.

4.2.20 Испытания якорной лебедки

4.2.20.1 Каждую якорную лебедку необходимо испытать в рабочих условиях после ее установки на борту, чтобы продемонстрировать удовлетворительные эксплуатационные характеристики. Каждую единицу необходимо независимо испытать по следующим параметрам:

а) торможение;
б) функционирование сцепления муфты;
в) опускание и подъем якорной цепи и якоря;
г) надлежащее прохождение цепи в цепном подъемном механизме;
д) надлежащее прохождение цепи в якорной трубе и палубном клюзе;
е) эффективная надлежащая укладка якорной цепи и якоря.

4.2.20.2 Во время испытаний на борту судна необходимо продемонстрировать функционирование якорной лебедки при следующих операциях:

а) для всех указанных расчетных глубин якорной стоянки, поднятие якоря с глубины 82,5 м до глубины 27,5 м при средней скорости в 9 м/мин;
б) для указанных расчетных глубин якорной стоянки, превышающих 82,5 м, в дополнение к пункту а) необходимо поднятие якоря с заданной расчетной глубины якорной стоянки до глубины 82,5 м при средней скорости 3 м/мин.
В случае, когда глубина воды в районе проведения испытаний не является соответствующей, в качестве альтернативы будут рассмотрены подходящие эквивалентные имитирующие ее условия.

4.2.21 Приспособления для укладки и отдачи якорей

4.2.21.1 Необходимо предусмотреть конструкции, обеспечивающие простую отдачу, подъем и укладку якорей. Такие конструкции, как правило, состоят из якорной трубы и цепного ящика, который может иметь форму сборного цепного ящика или якорной ниши.

4.2.21.2 В случае, когда якорные трубы не установлены, будут специально рассматриваться альтернативные конструкции.

4.2.22 Габаритные размеры и размеры связей якорных труб и якорных ниш

4.2.22.1 Якорные трубы должны иметь надлежащий размер и конфигурацию, чтобы обеспечить соответствующий зазор и легкое обеспечение движения якорной цепи от стопорного устройства для цепи сквозь борт судна.

4.2.22.2 Якорные трубы должны иметь достаточную прочность.

4.2.22.3 Якорные ниши должны иметь достаточную толщину и подходящий размер и форму, чтобы обеспечить качественное размещение в них якоря и предотвратить, насколько это практически возможно, ослабление натяжения цепи или перемещение якоря из-за воздействия волн.

4.2.22.4 Якорные трубы и якорные ниши должны иметь полностью скругленные фланцы или оковки для того, чтобы минимизировать «придавливание» цепей, а также минимизировать возможность того, что звенья якорной цепи подвергнутся воздействию высоких изгибающих напряжений. Радиус кривизны должен быть таким, чтобы одновременно на скругленных частях верхнего и нижнего концов якорных труб могли располагаться не менее трех звеньев в тех областях, где якорная цепь поддерживается во время отдачи и подъема, а также в период, когда судно стоит на якоре.

4.2.23 Упрочнение корпуса

4.2.23.1 Якорные трубы должны быть надежно закреплены к толстому листу, прокладкам или двойному листу непрерывными сварными швами.

4.2.23.2 Набор судна в месте расположения якорных труб или якорных ниш необходимо усилить ввиду необходимости обеспечения жесткого крепления его к корпусу.

4.2.23.3 На судах, имеющих бульбообразный нос, в случае, когда невозможно обеспечить подходящий зазор между обшивкой корпуса и якорями при выполнении операций с якорями, необходимо обеспечить местные упрочнения бульбообразного носа в форме увеличенной толщины листа обшивки.

4.2.24 Испытание

4.2.24.1 Якоря необходимо отдавать и поднимать таким образом, чтобы инспектор был удовлетворен тем, что отсутствует риск застревания якоря в якорной трубе.

4.2.24.2 Во время испытаний брашпиля в море инспектор должен быть удовлетворен тем, что при отпускании тормоза якорь незамедлительно начинает падать вниз под действием своей собственной массы.

4.2.24.3 После того, как они будут установлены, якорные трубы и якорные ниши должны быть тщательно испытаны на герметичность с помощью шланга, давление воды в котором должно соответствовать требованиям, приведенным в *подразделе 5*.

Таблица 11.4.1

Оборудование – становые якоря и якорные цепи

		Бесштоковые становые якоря		Звено якорной цепи станового якоря диаметр цепи			
Оборудование Количество		Количество якорей	Масса на якорь, кг	Длина, м	Сталь нормальной прочности (Марка 1), мм	Высокопрочная сталь (Марка 2), мм	Экстра-высокопрочная сталь (Марка 3), мм
больше либо равно	или меньше либо равно						
1	2	3	4	5	6	7	8
150	175	2	480	275	22	19	
175	205	2	570	302,5	24	20,5	
205	240	2	660	302,5	26	22	20,5
240	280	2	780	330	28	24	22
280	320	2	900	357,5	30	26	24
320	360	2	1020	357,5	32	28	24
360	400	2	1140	385	34	30	26
400	450	2	1290	385	36	32	28
450	500	2	1440	412,5	38	34	30
500	550	2	1590	412,5	40	34	30
550	600	2	1740	440	42	36	32
600	660	2	1920	440	44	38	34
660	720	2	2100	440	46	40	36
720	780	2	2280	467,5	48	42	36
780	840	2	2460	467,5	50	44	38
840	910	2	2640	467,5	52	46	40
910	980	2	2850	495	54	48	42
980	1060	2	3060	495	56	50	44
1060	1140	2	3300	495	58	50	46
1140	1220	2	3540	522,5	60	52	46
1220	1300	2	3780	522,5	62	54	48

Продолжение табл. 11.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
1300	1390	2	4050	522,5	64	56	50
1390	1480	2	4320	550	66	58	50
1480	1570	2	4590	550	68	60	52
1570	1670	2	4890	550	70	62	54
1670	1790	2	5250	577,7	73	64	56
1790	1930	2	5610	577,5	76	66	58
1930	2080	2	6000	577,5	78	68	60
2080	2230	2	6450	605	81	70	62
2230	2380	2	6900	605	84	73	64
2380	2530	2	7350	605	87	76	66
2530	2700	2	7800	632,5	90	78	68
2700	2870	2	8300	632,5	92	81	70
2870	3040	2	8700	632,5	95	84	73
3040	3210	2	9300	660	97	84	76
3210	3400	2	9900	660	100	87	78
3400	3600	2	10500	660	102	90	78
3600	3800	2	11100	687,5	105	92	81
3800	4000	2	11700	687,5	107	95	84
4000	4200	2	12300	687,5	111	97	87
4200	4400	2	12900	715	114	100	87
4400	4600	2	13500	715	117	102	90
4600	4800	2	14100	715	120	105	92
4800	5000	2	14700	742,5	122	107	95
5000	5200	2	15400	742,5	124	111	97
5200	5500	2	16100	742,5	127	111	97

1	2	3	4	5	6	7	8
5500	5800	2	16900	742,5	130	114	100
5800	6100	2	17800	742,5	132	117	102
6100	6500	2	18800	742,5	*	120	107
6500	6900	2	20000	770	*	124	111
6900	7400	2	21500	770	*	127	114
7400	7900	2	23000	770	*	132	117
7900	8400	2	24500	770	*	137	122
8400	8900	2	26000	770	*	142	127
8900	9400	2	27500	770	*	147	132
9400	10000	2	29000	770	*	152	132
10000	10700	2	31000	770	*	*	137
10700	11500	2	33000	770	*	*	142
11500	12400	2	35500	770	*	*	147
12400	13400	2	38500	770	*	*	152
13400	14600	2	42000	770	*	*	157
14600	16000	2	46000	770	*	*	162

Примечание
1. Количество требуемых якорей не включает в себя запасные якоря.
2. При данном диаметре не следует использовать цепь марки '*'.

Таблица 11.4.2

Оборудование – Буксировочный трос и перлинь

Количество оборудования		**Буксировочный трос или канат**		**Перлини**		
больше либо равно	**меньше либо равно**	**Длина, м**	**Прочность на разрыв, кН**	**Количество**	**Длина каждого, м**	**Прочность на разрыв, кН**
1	2	3	4	5	6	7
150	175	180	98,0	3	120	54,0
175	205	180	112,0	3	120	59,0
205	240	180	129,0	4	120	64,0

Продолжение табл. 11.4.2

1	2	3	4	5	6	7
240	280	180	150,0	4	120	69,0
280	320	180	174,0	4	140	74,0
320	360	180	207,0	4	140	78,0
360	400	180	224,0	4	140	88,0
400	450	180	250,0	4	140	98,0
450	500	180	277,0	4	140	108,0
500	550	190	306,0	4	160	123,0
550	600	190	338,0	4	160	132,0
600	660	190	371,0	4	160	147,0
660	720	190	406,0	4	160	157,0
720	780	190	441,0	4	170	172,0
780	840	190	480,0	4	170	186,0
840	910	190	518,0	4	170	201,0
910	980	190	559,0	4	170	216,0
980	1060	200	603,0	4	180	230,0
1060	1140	200	647,0	4	180	250,0
1140	1220	200	691,0	4	180	270,0
1220	1300	200	738,0	4	180	284,0
1300	1390	200	786,0	4	180	309,0
1390	1480	200	836,0	4	180	324,0
1480	1570	220	888,0	5	180	324,0
1570	1670	220	941,0	5	190	333,0
1670	1790	220	1024,0	5	190	353,0
1790	1930	220	1109,0	5	190	378,0
1930	2080	220	1168,0	5	190	402,0
2080	2230	240	1259,0	5	200	422,0
2230	2380	240	1356,0	5	200	451,0
2380	2530	240	1453,0	5	200	480,0
2530	2700	260	1471,0	6	200	480,0
2700	2870	260	1471,0	6	200	490,0

1	2	3	4	5	6	7
2870	3040	260	1471,0	6	200	500,0
3040	3210	280	1471,0	6	200	520,0
3210	3400	280	1471,0	6	200	554,0
3400	3600	280	1471,0	6	200	588,0
3600	3800	300	1471,0	6	200	618,0
3800	4000	300	1471,0	6	200	647,0
4000	4200	300	1471,0	7	200	647,0
4200	4400	300	1471,0	7	200	657,0
4400	4600	300	1471,0	7	200	667,0
4600	4800	300	1471,0	7	200	677,0
4800	5000	300	1471,0	7	200	686,0
5000	5200	300	1471,0	8	200	686,0
5200	5500	300	1471,0	8	200	696,0
5500	5800	300	1471,0	8	200	706,0
5800	6100	300	1471,0	8	200	706,0
6100	6500	300	1471,0	9	200	716,0
6500	6900	300	1471,0	9	200	726,0
6900	7400	300	1471,0	10	200	726,0
7400	7900	300	1471,0	11	200	726,0
7900	8400	300	1471,0	11	200	735,0
8400	8900	300	1471,0	12	200	735,0
8900	9400	300	1471,0	13	200	735,0
9400	10000	300	1471,0	14	200	735,0
10000	10700	–	–	15	200	735,0
10700	11500	–	–	16	200	735,0
11500	12400	–	–	17	200	735,0
12400	13400	–	–	18	200	735,0
13400	14600	–	–	19	200	735,0
14600	16000	–	–	21	200	735,0

4.3 Аварийная буксировка

4.3.1 Общие требования

4.3.1.1 Приспособления для аварийной буксировки должны устанавливаться как на носу, так и в корме каждого танкера, полная грузоподъемность которого составляет 20 000 т и более, в соответствии с требованиями *Международной конвенции по охране человеческой жизни на море, 1974, с поправками (Руководство II-1/3-4).*

4.3.1.2 Конструкция и исполнение буксирных приспособлений должны быть утверждены соответствующей администрацией государства флага на основании *MSC.35(63), Руководство по требованиям, касающимся аварийной буксировки танкеров.* Требования, относящиеся к несущей конструкции оборудования для аварийного буксировки, см. также в *3.1.5.*

5 Процедуры испытаний

5.1 Испытание танков

5.1.1 Сфера применения

5.1.1.1 Необходимо провести испытание следующих танков и граничных конструкций в соответствии с требованиями, приведенными в *5.1.3 – 5.1.9*, следующим образом:

а) испытание гравитационных танков, за исключением вкладных цистерн вместимостью менее 5 м^3, на соответствие их конструкции требованиям и герметичность;
б) испытание водонепроницаемых граничных конструкций помимо границ танков на водонепроницаемость;
в) испытание граничных конструкций, стойких к атмосферным воздействиям, на стойкость к атмосферным воздействиям.

5.1.2 Определения

5.1.2.1 Водонепроницаемый означает способный предотвратить прохождение воды сквозь конструкцию при высоте столба воды, на который спроектирована окружающая конструкция.

5.1.2.2 Стойкий к атмосферным воздействиям означает, что при любом состоянии моря вода не будет проникать внутрь судна.

5.1.2.3 Конструктивные испытание представляет собой гидростатическое испытание для проверки непроницаемости, а также правильности конструктивного решения, принятого в проекте. Если возникают практические затруднения и проведение гидростатических испытаний в полном объеме невозможно, гидростатические испытания могут быть заменены гидропневматическими.

5.1.2.4 Испытание надувом воздуха представляет собой испытание с помощью воздуха или другой среды, выполняемое для того, чтобы продемонстрировать герметичность конструкции.

5.1.2.5 Испытание струей воды из шланга выполняется струей воды для того, чтобы продемонстрировать герметичность элементов конструкции, которые не подвергаются гидростатическому испытанию или испытанию надувом воздуха, и прочих компонентов, которые влияют на водонепроницаемость корпуса или стойкость корпуса к атмосферным воздействиям.

5.1.2.6 Гидропневматическое испытание представляет собой комбинацию гидростатического испытания и испытания на герметичность воздухом, проводимого путем заполнения танка водой и подачи дополнительного давления воздуха. Оно проводится для того, чтобы продемонстрировать герметичность танков и адекватность проекта конструкции в качестве альтернативы гидростатическому испытанию.

5.1.2.7 Гидростатическое испытание представляет собой испытание, предназначенное для проверки адекватности проекта конструкции и герметичности конструкции танка с помощью давления воды, получаемом при наливе воды до уровня, приведенного в *табл. 11.5.1*. Гидростатическое испытание представляет собой нормальный метод испытания конструкции за исключением случаев, когда выполнению его препятствуют значительные фактические ограничения или когда разрешается проведение испытания на герметичность воздухом.

5.1.2.8 Грунт представляет собой тонкое покрытие, наносимое после подготовки поверхности, но до начала производства с целью защиты от коррозии в процессе производства.

5.1.2.9 Защитное покрытие представляет собой систему покрытий, наносимых на конструкцию для защиты ее от коррозии. Грунт не входит в эту систему.

5.1.3 Процедуры испытаний

5.1.3.1 Испытания необходимо выполнять в присутствии и к удовлетворению инспектора. Строительство судна должно находиться на стадии, достаточно близкой к завершению, после монтажа всех дополнительных приспособлений, насыщения или изготовления отверстий, которые могут повлиять на прочность или герметичность конструкции, с тем, чтобы любые последующие работы не могли нарушить прочность и непроницаемость конструкции, но до того, как соединения будут закрыты какими-либо подволоками и цементом.

5.1.3.2 Конкретные требования к испытаниям приведены в *табл. 11.5.1*.

5.1.3.3 График нанесения покрытий в рамках проведения испытаний см. *5.1.8*.

5.1.4 Испытание конструкций

5.1.4.1 В случае, когда в *табл. 11.5.1* предписывается испытание конструкций, допустимо использование гидростатического метода испытаний за исключением случаев, когда этому препятствуют фактические ограничения или когда *примечание 1* к *табл. 11.5.1* допускает использование испытаний на герметичность. Вместо гидростатического испытания может быть разрешено гидропневматическое испытание.

5.1.4.2 Гидростатическое испытание должно проводиться при высоте столба воды, доходящего до уровня, указанного в *табл. 11.5.1*.

5.1.4.3 Гидропневматические испытания, в случае, когда они утверждены, должны имитировать фактическую нагрузку, насколько это практически возможно, в отношении с комбинированным уровнем воды и давлением воздуха. Требования и рекомендации, приведенные в *5.1.5* касательно давления воздуха, также действительны.

5.1.4.4 Конструктивные испытания необходимо проводить тогда, когда судно находится на плаву, в случае, если нежелательно использование воды в сухом доке или на стапеле. В случае, когда испытание конструкций проводится на судне на плаву, оно должно выполняться путем заполнения каждого танка и коффердама отдельно до испытательного уровня, приведенного в *табл. 11.5.1*.

5.1.4.5 При заполнении примерно половины количества цистерн необходимо обследовать донную и нижнюю боковую часть обшивки пустых танков, а оставшуюся часть нижней боковой части обшивки танков следует обследовать тогда, когда вода была перемещена в оставшиеся танки.

5.1.4.6 Границы танков должны проходить испытание как минимум с одной стороны. Танки, подлежащие испытанию на соответствие конструкции (см. *примечание 1* к *табл. 11.5.1*) необходимо выбрать таким образом, чтобы все репрезентативные элементы конструкций были испытаны на ожидаемое растяжение и сжатие.

5.1.5 Испытание надувом воздуха

5.1.5.1 Все граничные сварные швы, монтажные соединения и прорезные соединения, включая соединения труб, необходимо обследовать в соответствии с утвержденной процедурой и под давлением не менее 0,15 бар с использованием раствора для обнаружения протечек (например, мыльной воды). Не рекомендуется прибегать к давлениям свыше 0,20 бар.

5.1.5.2 Перед тем, как давление воздуха в танке будет снижено до уровня испытательного давления, рекомендуется, чтобы оно доводилось и поддерживалось на уровне 0,20 бар в течение приблизительно одного часа, при этом вокруг танка должно находиться минимальное число персонала.

5.1.5.3 Для подтверждения величины давления и во избежание избыточного давления необходимо установить U-образную трубу, наполненную водой до высоты, соответствующей требуемому испытательному давлению. Площадь поперечного сечения U-образной трубы должна составлять не менее площади поперечного сечения трубы нагнетания воздуха. В дополнение к U-образной трубе необходимо также использовать контрольный измеритель, чтобы подтвердить величину давления.

5.1.5.4 Также при условии передачи полного комплекта подробной информации могут рассматриваться другие эффективные методики испытаний на герметичность, включая испытания угловых сварных швов с помощью сжатого воздуха или испытания в вакууме.

5.1.6 Испытание струей воды из шланга

5.1.6.1 Испытание струей воды из шланга применимо в отношении конструкций, которые не проходят конструкционное испытание или испытание на герметичность, которые, однако, должны быть герметичными или устойчивыми к атмосферным воздействиям в соответствии с *табл. 11.5.1*.

5.1.6.2 Испытание струей воды из шланга необходимо проводить при давлении в шланге, равном не менее 2,0 бар в течение всего времени проведения испытания. Минимальный внутренний диаметр форсунки должен быть равен 12 мм, а струю необходимо направлять на испытываемое соединение с расстояния, не превышающего 1,5 м.

5.1.6.3 Вместо испытания струей воды из шланга может допускаться испытание надувом воздуха или конструктивное испытание.

5.1.7 Прочие методики испытаний

5.1.7.1 При условии передачи всей подробной информации могут рассматриваться другие методики испытаний.

5.1.8 Нанесение покрытия – защитное покрытие

5.1.8.1 Финишное покрытие можно наносить до того, как будет выполняться гидростатическое испытание, при условии, однако, что испытание на герметичность будет выполнено до нанесения финишного покрытия.

5.1.8.2 Необходимо выяснять причины любого изменения цвета либо повреждения покрытия и устранять все дефекты.

5.1.8.3 Для всех монтажных сварных швов, выполненных методом ручной или полуавтоматической сварки, а также всех угловых сварных соединений граничных соединений танков, включая сварные швы, полученные проплавлением основного металла, финишное покрытие следует наносить после проведения испытания на герметичность. Для других сварных швов финишное покрытие может наноситься до проведения испытаний надувом воздуха при условии, что после тщательной проверки до нанесения покрытия инспектор будет удовлетворен качеством сварного шва. Инспектор может потребовать проведения испытания надувом воздуха монтажных сварных швов, выполненных методом автоматической сварки, сборочных швов, выполненных методом ручной или автоматической сварки, до того, как будет нанесено финишное покрытие, учитывая при этом методику контроля качества, принятую на верфи.

5.1.8.4 Финишное покрытие необходимо наносить после того, как будут произведены все необходимые испытания струей воды из шланга.

5.1.9 Временное покрытие

5.1.9.1 Временные покрытия, которые могут скрывать дефекты или протечки, следует наносить в соответствии с процедурой, приведенной для защитного покрытия в *5.1.8*. Это требование не относится к грунту, наносимому перед изготовлением конструкции.

5.1.9.2 До выполнения испытания надувом воздуха на сварные швы может быть нанесена заводская грунтовка на кремниевой основе. Слой грунта следует наносить максимальной толщиной 50 мкн. Прочие грунты с неточно известным химическим составом следует наносить максимальной толщиной 30 мкн.

Таблица 11.5.1

Требования к испытаниям для танков и граничных конструкций

	Испытываемая конструкция	**Тип испытаний**	**Напор или давление гидростатического испытания**	**Примечания**
1	2	3	4	5
1	Танки двойного дна	Конструкционные (1)	Наибольшее значение из нижеприведенных: – до верхней точки перелива, или – до палубы переборок	Границы танков, прошедшие испытание как минимум с одной стороны
2	Танки двойного борта	Конструкционное испытание (1)	Наибольшая величина из нижеприведенных: – до верхней точки перелива, или – до уровня 2,4 м над верхней точкой танка (2)	Границы танков должны подвергаться испытанию как минимум с одной стороны
3	Грузовые танки	Конструкционное испытание (1)	Наибольшее значение из нижеприведенных: – верхняя точка перелива, или – до уровня 2,4 м над верхней точкой танка (2) или – до верхней точки танка (2) плюс установка любого из предохранительных клапанов	Границы танков должны проходить испытание как минимум с одной стороны
	Топливные цистерны	Конструкционное испытание		
4	Коффердамы	Конструкционные испытания (3)	Наибольшее значение из нижеприведенных: – верхняя точка перелива, или – до уровня 2,4 м над верхней точкой коффердама	

Продолжение табл. 11.5.1

1	2	3	4	5
5a	Форпиковые и ахтерпиковые танки	Конструкционное испытание	Наибольшее значение из нижеприведенных: – верхняя точка перелива, или – до уровня 2,4 м над верхней точкой танка (2)	Испытание ахтерпикового танка необходимо выполнять после монтажа дейдвудной трубы.
5б	Форпик не используется в качестве цистерны.	См. требования *SOLAS II.*1, *положение 14*		
5d	Ахтерпик не используется в качестве цистерны	Испытание надувом воздуха		
6	Водонепроницаемые переборки, расположенные в областях сухих отсеков	Испытание с помощью струи воды из шланга (4)		Включая уступы и выступы
7	Водонепроницаемые двери ниже надводного борта или палубы переборок	Испытание с помощью струи воды из шланга		Испытание с помощью струи воды из шланга, которое следует проводить перед монтажом (5)
8	Руль пустотелый	Конструкционное испытание (1), (6)	Напор воды 2,4 м. Руль необходимо испытывать в положении на боку	
9	Водонепроницаемые люковые закрытия комбинированных танкерах	Конструкционные испытания	Наибольшая величина из нижеприведенных: – до уровня 2,4 м над верхней точкой люкового закрытия, или – установка давления предохранительного клапана	Испытанию должно подвергаться как минимум каждое второе люковое закрытие
10	Устойчивые к атмосферным воздействиям крышки люков, двери и прочие устройства закрытия	Испытание струей воды из шланга (4)		
11	Обшивка каркаса в области расположения насосного отделения	Визуальный осмотр		Необходимо произвести тщательный осмотр, при этом судно должно находиться на плаву
12	Цепной ящик (кормовая таранная переборка)	Конструкционные испытания	До верхней точки палубного клюза ящика для якорных цепей	
13	Вкладные цистерны	Конструкционные испытания	Наибольшая величина из нижеприведенных: – до верхней точки перелива, или – до уровня 0,9 м над верхней точкой танка	
14	Балластно-распределительные каналы	Конструкционные испытания	Испытания балластным насосом при максимальном давлении или установка любого предохранительного клапана в балластно-распределительном канале, если это испытание менее жесткое	
15	Якорная труба	Испытание струей воды из шланга		

Примечание

1. Результаты испытания надувом воздуха или гидропневматического испытания могут считаться приемлемыми при соблюдении условий, приведенных в *5.1.5*, при условии, что как минимум один танк каждого типа прошел конструкционное испытание и был выбран в связи с утверждением проекта. В целом конструкционное испытание не нужно повторять для последующих новых строящихся судов серии, за исключением случая, когда инспектор считает, что такое повторение необходимо. Конструкционное испытание граничных конструкций грузового отсека и танков для отделенных грузов или вредных веществ на последующих идентичных новых строящихся судах серии должно производиться в соответствии с требованиями конкретного классификационного сообщества.
2. Верхняя часть танка определяется как палуба, образующая верхнюю часть танка, за исключением люков.
3. Может допускаться испытание струей воды из шланга в соответствии с *5.1.5* за исключением случая, когда может потребоваться гидропневматическое испытание при рассмотрении задействованных технологий строительства и методов сварки.
4. В случае, когда испытание струей воды из шланга проводить практически нецелесообразно на данной стадии оснащения (машинное оборудование, кабели, распределительный щит, изоляция и т.д.), он может быть заменен по индивидуальному решению сообщества на тщательный визуальный осмотр всех пересечений и сварных соединений. Может потребоваться проведение цветной дефектоскопии, испытания на испытание надувом воздуха или ультразвукового испытания на герметичность.
5. Перед установкой (т.е., как правило, в заводских условиях изготовления) герметичных дверей лазов или крышек люков их необходимо подвергнуть гидростатическому испытанию напором воды, эквивалентным палубе переборок по центру, со стороны, наиболее подверженной протечкам. Необходимо руководствоваться следующими приемочными критериями:
   - на дверях или люках с прокладками течей быть не должно,
   - для дверей или крышек люков с металлическим уплотнением допускается максимальная протечка воды в один литр в минуту.
6. Если проводится испытание надувом воздуха или гидропневматическое испытание, необходимо принять меры для того, чтобы гарантировать, что не будет применяться давление, превышающее 0,30 бар.

РАЗДЕЛ 12. КРИТЕРИИ ЗАМЕНЫ СУДНА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

1 Допустимое уменьшение толщины конструкции корпуса

1.1 Общие положения

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 Целью данного раздела является выработка критерия допустимого уменьшения толщины конструкции корпуса судна.

1.1.1.2 Данный критерий применим только к судам, находящимся в эксплуатации, которые спроектированы и построены в соответствии с настоящими Правилами.

1.1.1.3 Замеры толщины используются для оценки конструкции судна по указанному критерию замены.

1.1.2 Концепция допуска на износ

1.1.2.1 Допуск на износ включает в себя два понятия: местный допуск на износ и допуск на износ эквивалентного бруса. Определение местного допуска на износ дается в *1.4*, а определение полного допуска на износ эквивалентного бруса приводится в *1.5*.

1.1.2.2 Оценки по критериям местного допуска на износ и допуска на износ эквивалентного бруса требуются в период срока службы судна.

1.1.2.3 Замена стальных деталей или частей требуется при превышении или местного допуска на износ, или допуска на износ эквивалентного бруса.

1.1.2.4 Новые требования к постройке, имеющиеся в настоящих Правилах, включают также надбавку на коррозию, см. *раздел* 6/3, и рассматривают все нагрузки и состояния отказов, например, текучести, устойчивости при продольном изгибе и усталости металла. Дополнительная оценка размеров на соответствие требованиям Правил в течение срока службы судна не требуется, при условии, что толщина любого элемента конструкции остается больше, нежели указанная ниже замена.

1.1.3 Требования по документации

1.1.3.1. На борту корабля должны находиться чертежи, согласно *разделу 3/2.2.3*, которые должны включать построечную толщину и толщину замены, в соответствии с *1.4.2*. На чертежах должна быть четко показана дополнительная толщина элементов, увеличенная по желанию владельца, если имеется.

1.1.3.2 Судостроители должны предоставить на борт судна чертежи поперечных сечений, включая таблицу с минимально допустимыми параметрами эквивалентного бруса, согласно *1.5*, для поперечного сечения в средней части грузовых танков.

1.2 Оценка замеров толщины

1.2.1 Общие положения

1.2.1.1 Минимальные требования освидетельствования для поддержания класса, применительно к танкерам для перевозки нефти с двойным корпусом, определены в *Унифицированном требовании МАКО, (IACS Unified Requirement Z10.4)*.

1.2.1.2 Замеры толщины производятся согласно требованиям каждого классификационного общества и *Унифицированного требования МАКО, (IACS Unified Requirement Z10.4)*.

1.2.2 Оценка местного износа

1.2.2.1 Замеры толщины производятся для подтверждения того, что замеренная толщина не меньше, чем толщина замены элемента, вследствие общей коррозии или местной язвенной коррозии, согласно определению *1.4.2 и 1.6* соответственно. См. также *1.3.*

1.2.2.2 Если при проведении освидетельствования выявляется, что требуется замена стального элемента, или имеется дефект конструкции, которые по мнению инспектора ухудшают готовность судна к продолжению дальнейшей эксплуатации, то необходимо принять меры по устранению названных недостатков до того, как продолжится эксплуатация судна.

1.2.2.3 Повторная проверка и проведение дополнительных замеров толщины при ежегодном и промежуточном освидетельствовании требуются в том случае, если измеряемая толщина, t_m, меньше допустимой толщины ежегодного освидетельствования, t_{annual}, определяемой как:

$$t_{annual} = t_{as-built} - t_{own} - t_{was} \text{ мм,}$$

где $t_{as-.built}$ построечная толщина, мм;
t_{was} допуск на износ, согласно *1.4.2.2*;
t_{own} дополнительный допуск на износ, мм, указанный владельца/проектантом, если применимо.

1.2.2.4 При необходимости повторной проверки и дополнительных замеров толщины, согласно *1.2.2.3*, данные дополнительные замеры должны производиться в соответствии с *табл. 12.1.1* для выявления полной степени типа коррозии.

Таблица 12.1.1

Дополнительные замеры толщины в районе элемента, у которого tm < tannual

Элемент конструкции	Объем замеров	Метод промера
Обшивка	Область, вызывающая подозрение, и соседние листы	5 точек на площади 1м^2
Ребра жесткости	Область, вызывающая подозрение	3 точки в линию поперек стенки, 3 точки в линию поперек фланца

1.2.2.5 При проведении каждого очередного освидетельствования замеры толщины выполняются в тех «критических» зонах, которые считает необходимыми инспектор. Критические зоны должны включать такие участки по всему судну, на которых возможен повышенный уровень коррозии, противоречащий положениям пункта *1.2.2.3*, и/или, считающиеся подверженными быстрой коррозии.

1.2.3 Оценка полного износа эквивалентного бруса

1.2.3.1 Параметры сечения эквивалентного бруса судна рассчитываются для сечений, указанных в *Унифицированном требовании МАКО, (IACS Unified Requirement Z10.4)*, на основе значений замеренной толщины с тем, чтобы подтвердить, что параметры толщины бруса не меньше, чем минимально допустимое значение, согласно определению *1.5.2*. Фактические параметры эквивалентного бруса, подсчитанные в результате проведенных замеров толщины в соответствии с *Унифицированными требованиями МАКО, (IACS Unified Requirement Z10.4)*, представляются в классификационное общество.

1.3 Категории коррозии

1.3.1 Общая коррозия

1.3.1.1 Общая коррозия определяется, как обширный участок поверхности, на котором обнаружено общее однородное уменьшение толщины материала.

1.3.1.2 Критерии замены участков с общей коррозией приводятся в *1.4.*

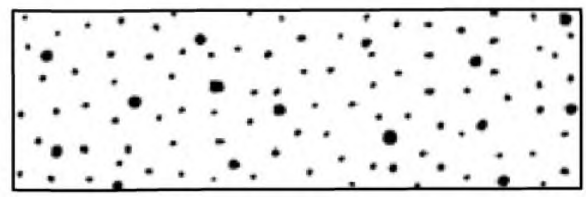
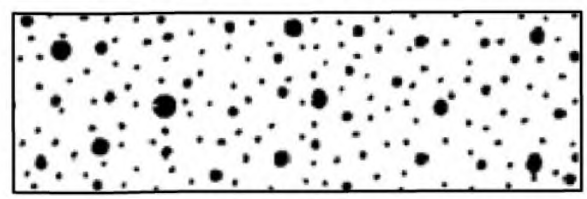
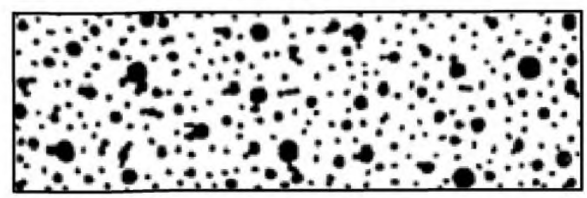
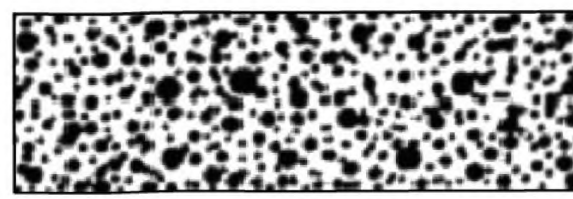
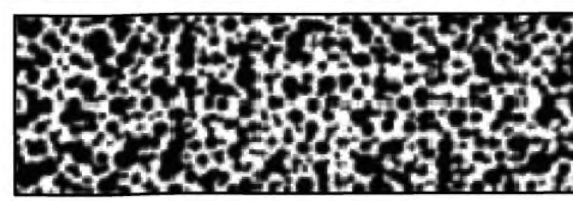
1.3.2 Язвенная коррозия

1.3.2.1 Точечная коррозия определяется, как разбросанные участки или точки, на которых местное истончение материала больше, чем общая коррозия на окружающих участках.

1.3.2.2 Интенсивность язвенной коррозии показана на *рис. 12.1.1.*

1.3.2.3 Критерии замены участков с язвенной коррозией приводятся в *1.6.2.*

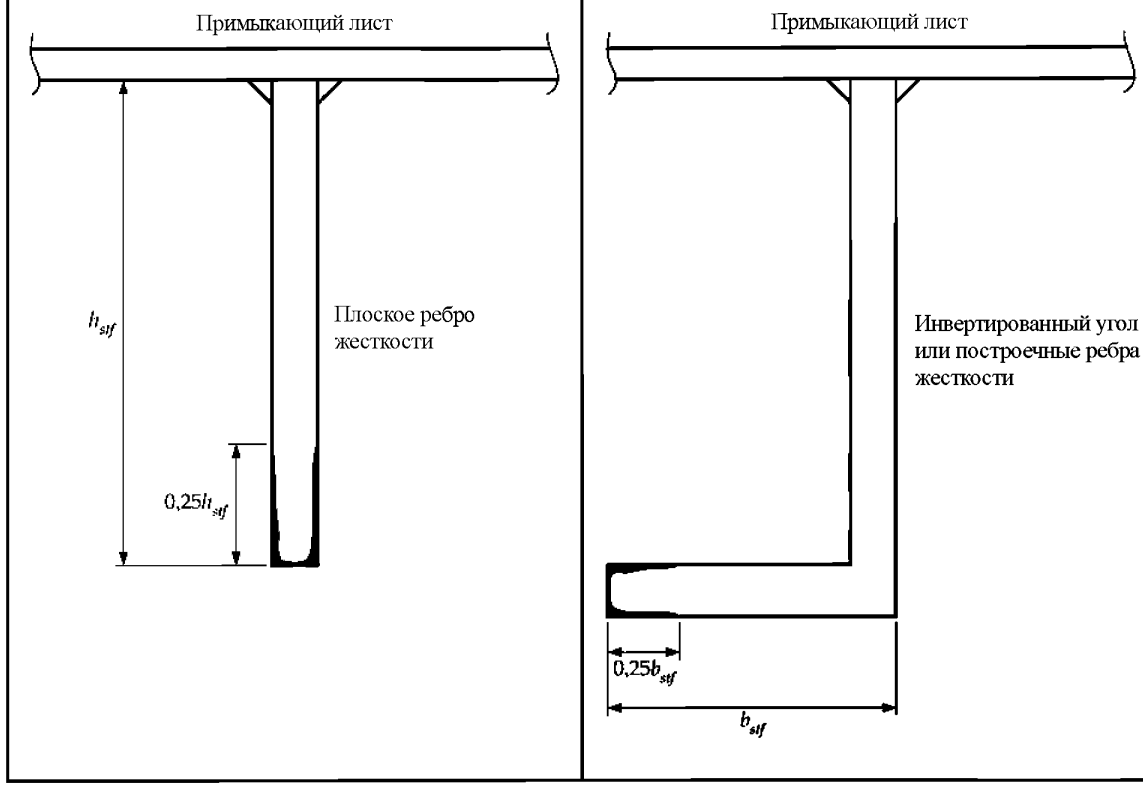
Рис. 12.1.1.
Примеры язвенной коррозии

с разбросом в 5%.	
с разбросом в 10%.	
с разбросом в 20%.	
с разбросом в 30%.	
с разбросом в 50%.	

1.3.3 Коррозия кромок

1.3.3.1 Коррозия кромок определяется, как местная коррозия на свободных кромках листов, ребер жесткости, основных элементах силового набора и участках вокруг отверстий. Пример коррозии кромок приводится на *рис. 12.1.2.*

Рис. 12.1.2
Коррозия кромок



1.3.3.2 Критерии замены участков с коррозией кромок приводятся в *1.6.3.*

1.3.4 Канавочная коррозия

1.3.4.1 Типичная канавочная коррозия представляет локальный износ материала рядом с участками сварочных соединений по опорным ребрам жесткости, торцам листовой обшивки или швам. Пример канавочной коррозии приводится на *рис. 12.1.3.*

1.3.4.2 Критерии замены участков с канавочной коррозией приводятся в *1.6.4.*

1.4 Критерии замены участков с общей коррозией

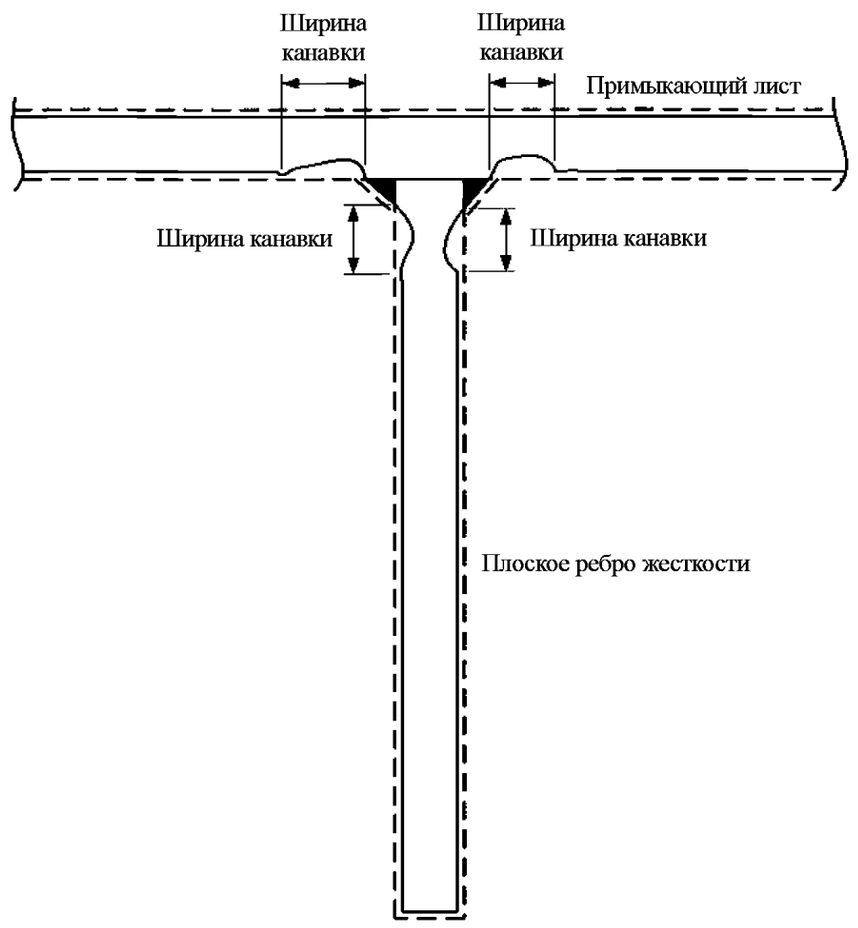
1.4.1 Область применения

1.4.1.1 Критерии возобновления *1.4.2* обычно применимы к участкам конструктивных элементов с общей коррозией

1.4.2 Критерий замены

1.4.2.1 Замена стального элемента требуется, если измеренная толщина, t_{tm}, меньше, чем толщина возобновления, tren, определяемая, как:

Рис. 12.1.3.
Канавочная коррозия



$t_{ren} = t_{as-built} - t_{was} - t_{own} - t_{corr-2.5}$ мм,

где $t_{as-.built}$ построечная толщина, мм;
t_{was} допуск на износ, согласно *1.4.2.2* ;
t_{own} дополнительный допуск на износ, если имеется, мм, владельца/проектанта;
$t_{corr-2.5}$ 0,5 мм, резервный допуск на коррозийный износ на 2,5 года, периода между промежуточным и специальным освидетельствованиями.

1.4.2.2 Допуск на износ, t_{was}, задается формулой:

$t_{was} = t_{was-1} + t_{was-2}$ мм, и округляется до ближайшего значения 0,5 мм,

где t_{was} полный допуск на износ рассматриваемого конструкционного элемента, мм ;
t_{was-1} допуск на износ для одной стороны конструкционного элемента с учетом содержимого отсека, влиянию которого подвержен элемент, мм, согласно *табл. 12.1.2* ;
t_{was-2} допуск на износ для другой стороны конструкционного элемента с учетом содержимого отсека, влиянию которого подвержен элемент, мм, согласно *табл. 12.1.2.*

1.4.2.3 Ддопуск на износ, t_{was}, не может быть менее 1,5 мм, кроме участков сухих помещений и насосного помещения, в котором допускается допуск, равный 1,0, мм.

1.4.2.4 Допуск на износ для помещений, неуказанных в *табл. 12.1.2,*,является предметом специального рассмотрения.

1.4.2.5 Участки, подлежащие возобновлению или замене, согласно критерию замены по *1.4.2.1* обычно ремонтируются материалами, доставляемыми внутрь, и должны обладать такой же прочностью/ быть такой же марки, или выше, чем первоначальный материал с толщиной, t_{repair}, не менее, чем:

$t_{repair} = t_{as-built} - t_{own}$ мм,

где $t_{as-built}$ построечная толщина, мм;
t_{own} дополнительный допуск на износ, если имеется, мм, владельца/проектанта.

Таблица 12.1.2

Местный допуск на износ для одной стороны конструкционного элемента

Тип отсека	Конструкционный элемент		Допуск на износ для элемента судна в эксплуатации, t_{was-1} или t_{was-2} (mm)
Танк водяного балласта и цепной ящик	Лицевая сторона основного конструкционного элемента	В пределах 3 м ниже верха танка (1)	2,0
		В любом другом месте	1,5
	Другие элементы	В пределах 3 м ниже верха танка (1)	1,7
		В любом другом месте	1,2
Грузовые нефтяные танки (3)	Лицевая сторона основного конструкционного элемента	В пределах 3 м ниже верха танка (1)	1,7
		В любом другом месте	1,4
	Внутренняя обшивка двойного дна/днище танка		2,1
	Другие конструкционные элементы	В пределах 3 м ниже верха танка (1)	1,7
		В любом другом месте	1,0
Подвержен атмосферному воздействию	Обшивка верхней палубы		1,7
	Другие элементы конструкции		1,0
Подвержен воздействию морской воды	Обшивка борта(2)		1,0
Топливные танки и танки смазочного масла (3)	Верх танка и имеющиеся ребра жесткости		1,0
	В любом другом месте		0,7
Танк пресной воды	Верх танка и имеющиеся ребра жесткости		1,0
	В любом другом месте		0,7
Пустые пространства	Пространства, которые обычно не посещаются, а люки доступа задраены, как короба и шахты трубопроводов и т.д.		0,7
Сухие помещения	Внутренние помещения рубок, машинного отделения, провизионных, румпельного отделения, насосной и т.д.		0,5

Примечание

1. Применительно только к грузовым и балластным танкам при палубе, являющейся верхом танков.
2. 0,5 мм добавляется для обшивки борта, на участках касания причальной стенки, согласно *разделу 8/ рис. 8.2.2.*
3. 0,3 мм добавляется для танков с кольцевой обмоткой подогрева.

1.5 Критерии замены для параметров сечения эквивалентного бруса при воздействия общей коррозии

1.5.1 Общие положения

1.5.1.1 Следует удостовериться в наличии следующих фактических параметров сечения эквивалентного бруса, см. *1.5.2-3:*

(а) вертикальный момент инерции эквивалентного бруса относительно горизонтальной оси, I_v;
(б) момент сопротивления сечения эквивалентного бруса относительно горизонтальной оси – палубы у борта, $Z_{v\text{-}dk}$;
(в) момент сопротивления сечения эквивалентного бруса относительно горизонтальной оси – у киля, $Z_{v\text{-}kl}$;
(г) момент сопротивления сечения эквивалентного бруса относительно вертикальной оси – у борта, $Z_{h\text{-}side}$;
(д) площадь вертикального среза эквивалентного бруса, $A_{v\text{-}shr}$.

1.5.2 Критерии замены

1.5.2.1 Замена стальных элементов требуется, если фактические параметры сечений эквивалентного бруса, $I_{v\text{-}tm}$, $Z_{v\text{-}tm\text{-}dk}$, $Z_{v\text{-}tm\text{-}kl}$, $Z_{h\text{-}tm\text{-}side}$, $A_{v\text{-}tm\text{-}shr}$, подсчитанные с использованием проведенных замеров действительной толщины, меньше, чем минимально допустимые фактические параметры сечений эквивалентного бруса, определенные в соответствии с *1.5.3.*

1.5.2.2 Фактические параметры сечений эквивалентного бруса, перечисленные в *5.2.1* рассчитываются согласно *разделу 4/2.6*, с использованием измеренных толщин.

1.5.2.3 Если требуется замена вследствие уменьшения фактических параметров сечений эквивалентного бруса, то в этом случае заменяются коррозийные местные элементы конструкции. Допускается замена любых комбинаций местных элементов конструкции при условии, что фактические параметры сечений эквивалентного бруса удовлетворяют требованиям *1.5.2.1.* Местные элементы конструкции, подлежащие замене, заменяются в соответствии с требованиями *1.4.2.3.*

1.5.3 Расчет минимально допустимых параметров сечений эквивалентного бруса

1.5.3.1 Минимально допустимые параметры сечений эквивалентного бруса, перечисленные в *5.1.1* рассчитываются согласно *разделу 4/2.6*, с использованием измеренных толщин в соответствии с *1.5.3.2.*

1.5.3.2 Минимально допустимые параметры сечений эквивалентного бруса в коррозийном состоянии подсчитываются с использованием таких же допусков на уменьшение толщины из-за коррозии, как используются во время постройки, связывая, таким образом, единым критерием, как строящееся судно, так и судно, находящееся в эксплуатации. Минимально допустимые свойства сечений эквивалентного бруса, поэтому должны основываться на толщине элемента, t, заданного выражением:

$$t = t_{as-built} - 0{,}5t_{corr} - t_{own} \quad \text{мм},$$

где $t_{as\text{-}built}$ построечная толщина, мм;
t_{corr} надбавка на коррозию, согласно *разделу 6/3.2* ;
t_{own} дополнительный допуск на износ, если имеется, мм, владельца/проектанта.

1.6 Допустимое утоньшение материала, вследствие язвенной, канавочной коррозии или коррозии кромок

1.6.1 Общие положения

1.6.1.1 Замена элементов из стали, вследствие язвенной, канавочной коррозии или коррозии кромок требуется в том случае, если измеренная толщина меньше, нежели определенная, согласно критерию *1.6.2*, *1.6.3* и *1.6.4* соответственно.

1.6.2 Язвенная коррозия

1.6.2.1 Для листов с интенсивностью язвенной коррозией менее 20 %, см. *рис. 12.1.1*, измеренная толщина, t_{tm}, полученная при проведении любого замера, должна отвечать наименьшему из нижеупомянутых критериев:

$t_{tm} \geq 0{,}7(t_{as-built} - t_{own})$ мм,

$t_{tm} \geq t_{ren} - 1$ мм,

где $t_{as-built}$ построечная толщина, мм;
t_{own} дополнительный допуск на износ, если имеется, мм, владельца/проектанта;
t_{ren} критерий замены по общей коррозии, согласно *1.4.2.1*.

1.6.2.2 Среднее значение толщины листа в любом поперечном сечении не должно быть меньше, чем критерий замены по общей коррозии, согласно *1.4.2.1*.

1.6.3 Коррозия кромок

1.6.3.1 При условии, что полная коррозийная высота кромочной коррозии фланца или стенки, в случае применения ребер жесткости плоского сечения является меньше 25 %, см. *рис. 12.1.2*, то ширина фланца или же высота стенки по измеренной толщине, t_{tm}, должна отвечать наименьшему из ниже перечисленных критериев:

$t_{tm} \geq 0{,}7(t_{as-built} - t_{own})$ мм,

$t_{tm} \geq t_{ren} - 1$ мм,

где $t_{as-built}$ построечная толщина, мм;
t_{own} дополнительный допуск на износ, мм, если применимо, владельца/проектанта;
t_{ren} критерий замены по общей коррозии, согласно *1.4.2.1* .

1.6.3.2 Среднее значение измеренной толщины ребра жесткости в ширину или высоту в любом поперечном сечении не должно быть меньше, чем критерий замены по общей коррозии, согласно *1.4.2*.

1.6.3.3 Листовые кромки проемов отверстий, проходных люков, вырезов под осветительные приборы и т.д. могут быть меньше минимальной толщины, указанной в *1.4.2* при условии, что:

а) максимальная степень уменьшения толщины листа ниже минимума, указанного в *1.4.2*, кромки отверстия не превышает 20 % наименьшего размера отверстия и не превышает 100 мм;
б) грубые или неравномерные кромки можно загнуть при условии, что максимальный размер отверстия не увеличится более, чем на 10 %.

1.6.4 Канавочная коррозия

1.6.4.1 Если максимальная ширина коррозийной канавки равен 15 % высоты стенки, но не превышает 30 мм, см. *рис. 12.1.3*, то измеренная толщина, t_{tm}, участка канавочной коррозии должна отвечать наименьшему из ниже перечисленных критериев:

$t_{tm} \geq 0{,}75\ (t_{as-built} - t_{own})$ мм,

$t_{tm} \geq t_{ren} - 0{,}5$ мм, но не меньше, чем $t_{tm} = 6$ мм,

где $t_{as-built}$ построечная толщина, мм;
t_{own} дополнительный допуск на износ, если имеется, мм, владельца/проектанта;
t_{ren} критерий замены по общей коррозии, согласно *1.4.2.1* .

1.6.4.2 Элементы с участками канавочной коррозии больше, чем указано в *1.6.4.1* оцениваются на основе критерия общей коррозии, согласно *1.4.2* с применением средней поперечно измеренной толщины листа или ребра жесткости.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА

1 Общие положения

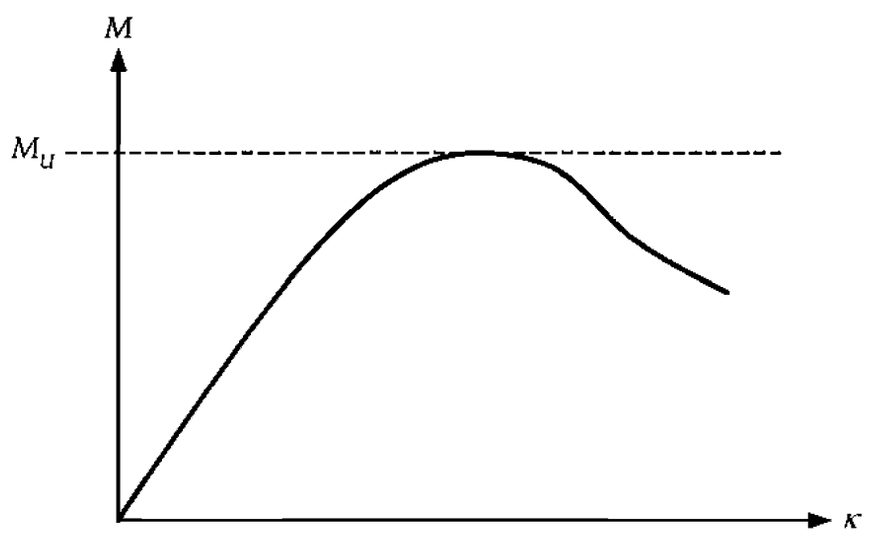
1.1 Определения

1.1.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе

1.1.1.1 Запасом предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе, *MU*, называется максимальный предел прочности эквивалентного бруса при изгибе, превышение которого приводит к разрушению корпуса. На прочность эквивалентного бруса влияет устойчивость, предельная прочность, предел текучести продольных связей корпуса.

1.1.1.2 Запасом предельной прочности сечения эквивалентного бруса при прогибе называется максимальная величина на кривой нелинейной зависимости изгибающего момента от кривизны *M-к*, см. *рис. А.1.1*. Кривая показывает процесс разрушения эквивалентного бруса по достижении максимального вертикального изгибающего момента.

Рис. А.1.1
Изгибающий момент – Кривая *M-к*



1.1.1.3 Кривизна критического сечения между рамным шпангоутом, κ, определяется по выражению:

$$\kappa = \theta / l,$$

где θ относительный угол поворота двух соседних сечений по поперечным рамным шпангоутам;
l расстояние между рамными шпангоутами, то есть пролет продольных балок.

1.2 Применение

1.2.1 Общие положения

1.2.1.1 Запас предельной прочности эквивалентного бруса на прогиб при продольном изгибе, оценивается пошаговой процедурой, описанной в *2.1* или шагово-итерационного методом согласно *2.2*. Данный способ оценки применим только для танкеров с продольной системой набора и двойным корпусом при изгибе на прогиб судна.

1.2.1.2 Величина коэффициентов запасов прочности, указанных в *разделе 9/1.4*, градирована пошаговой методикой согласно *2.1* и также подходит для шагово-итерационного метода согласно *2.2*.

1.3 Допущения

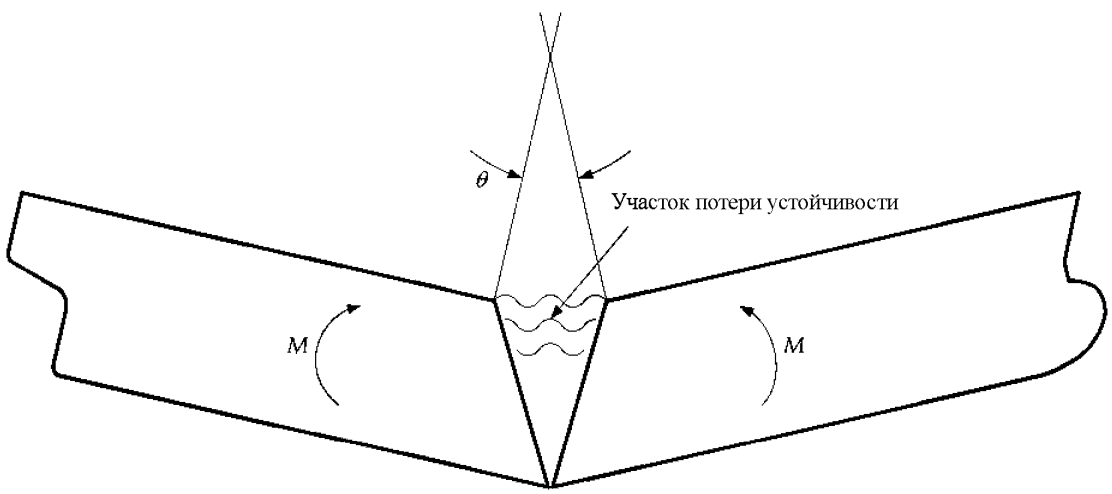
1.3.1 Общие положения

1.3.1.1 Методом расчета запаса предельной прочности эквивалентного бруса является выявление критических режимов отказов всех основных продольных связей корпуса. Для танкеров при условиях прогиба, критическими режимами обычно является потеря устойчивости при продольном изгибе связей конструкции палубы между шпангоутами, как это показано на *рис. А.1.2*.

1.3.1.2 При сжатии конструкций сверх предела их устойчивости их несущая способность на изгиб снижается. Все наиболее важные режимы отказов конкретных элементов конструкции, как потеря устойчивости настила, потери боковой устойчивости ребер жесткости, боковые или полные потери устойчивости при продольном изгибе ребер жесткости, потери устойчивости при продольном изгибе стенок ребер жесткости, и их взаимодействие принимаются во внимание для выявления самого критического режима потери устойчивости при продольном изгибе связей между шпангоутами.

1.3.1.3 Для танкеров при прогибе рассматривается только изгиб в вертикальной плоскости. Воздействие перерезывающей силы, крутящих моментов, горизонтального изгибающего момента и бокового давления в расчет не принимаются.

Рис. А.1.2
Судно в положении чрезвычайно большого прогиба при потере устойчивости связей между шпангоутами



1.4 Альтернативные методы

1.4.1 Общие положения

1.4.1.1 Принципы альтернативных методов расчета запаса предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе, например, шагово-итерационного метода, отличного от описываемого в *2.2.*, как и нелинейный анализ конечных элементов, описываются в *подразделе 3*.

1.4.1.2 Применение альтернативных методов должно согласовываться с каждым классификационным обществом до начала применения. Документация по методу анализа и детальное сравнение результатов с теми, которые имеются у классификационных обществ в ходе выполнения их процедур и порядка действий, должны представляться для изучения и одобрения. Применение подобных методов может потребовать подгонки коэффициентов запаса прочности согласно *разделу 9/1.4*.

2 Расчет запаса предельной прочности эквивалентного бруса

2.1 Пошаговый метод расчета запаса предельной прочности

2.1.1 Порядок действий

2.1.1.1 Пошаговый порядок расчета запаса предельной прочности эквивалентного бруса при прогибе является упрощенным методом, основанном на уменьшенной жесткости эквивалентного бруса при изгибе из-за потери устойчивости палубы, см. *рис. А.2.1*. Запасом предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе, M_U, принимается выражение:

$$M_U = Z_{red}\,\sigma_{yd} \cdot 10^3 \quad \text{кНм},$$

где Z_{red} уменьшенный момент сопротивления сечения на уровне средней высоты палубы

$$= \frac{I_{red}}{z_{dk-mean} - z_{NA-red}} \quad \text{м}^3;$$

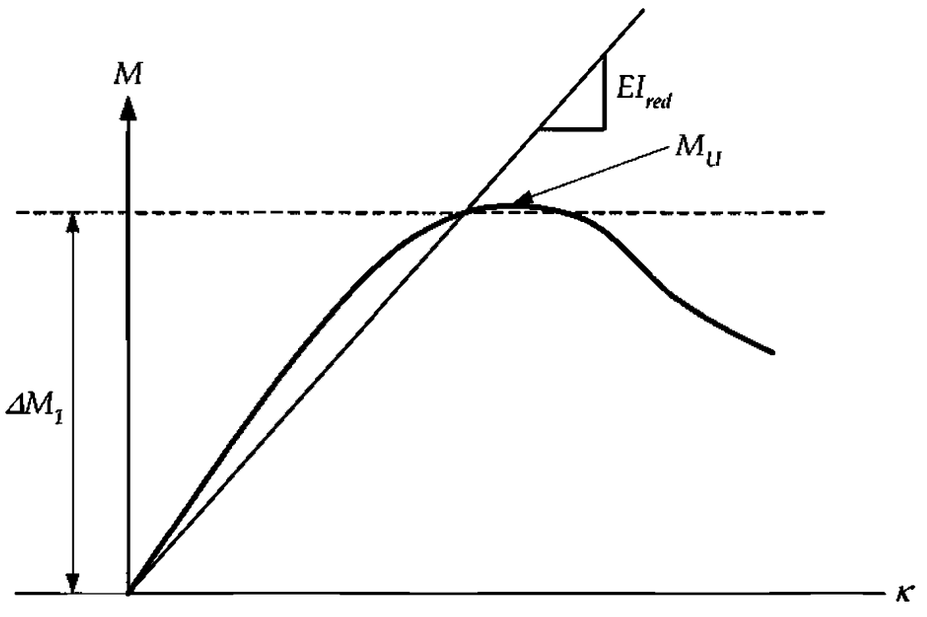
I_{red} уменьшенный момент инерции эквивалентного бруса, м^4. Момент инерции рассчитывается в соответствие с *разделом 8/2.6.1.1*, с использованием:
толщины нетто эквивалентного бруса, t_{net50}, для всех действующих продольных связей;
эффективной площади нетто участка после потери устойчивости при продольном изгибе каждой усиленной ребрами жесткости панели палубы, A_{eff};

A_{eff} эффективная площадь нетто участка усиленного ребрами жесткости настила палубы после потери устойчивости при продольном изгибе. Эффективная площадь является частью площади усиленного настила палубы ребрами жесткости, который может быть эффективно напряжен до предела текучести:

$$= \frac{\sigma_U}{\sigma_{yd}} A_{net50}, \quad \text{м}^2;$$

Примечание
За эффективную площадь палубных балок принимается площадь нетто балок с толщиной, равной t_{net50}.

Рис. А.2.1
Момент – Кривизна пошагового порядка расчета запаса предельной прочности эквивалентного бруса



A_{net50} площадь нетто усиленного ребрами жесткости настила палубы, м^2;

σ_U критическое напряжение усиленное ребрами жесткости настила палубы, Н/мм^2. Рассчитывается для каждого усиленного ребрами жесткости настила палубы с использованием:
расширенного метода анализа устойчивости при продольном изгибе, см. *раздел 10/4* и *приложение D*;
толщины нетто, t_{net50};

σ_{yd} указанный предел текучести материала, Н/мм^2, который используется для определения момента сопротивления эквивалентного бруса;

$z_{dk\text{-}mean}$ расстояние по вертикали до средней высоты палубы, принимаемое за среднее от палубы у борта и палубы по центральной оси при измерениях от ОП, м;

$z_{NA\text{-}red}$ расстояние по вертикали до нейтральной оси с учетом редуцирования сечения при измерениях от ОП, м.

2.1.1.2 Следует показать, что запас предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе, M_U, не вызывает напряжений, превышающих минимального предела текучести материала, σ_{yd}, наружной обшивки днища. Поэтому, запас предельной прочности эквивалентного бруса при изгибе, M_U, не может быть больше, чем:

$$M_U = \sigma_{yd} \frac{I_{red}}{z_{NA-red}} 10^3 \quad \text{кН/м},$$

где σ_{yd} минимальный предел текучести материала, Н/мм^2;

I_{red} уменьшенный момент инерции эквивалентного бруса, согласно *2.1.1.1*;

$z_{NA\text{-}red}$ расстояние по вертикали до нейтральной оси с учетом редуцирования сечения при измерениях от ОП, м.

2.1.2 Допущения

2.1.2.1 За предлагаемым порядком действий лежит допущение того, что запасом предельной прочности танкера на прогиб является точка, в которой достигается запас предельной несущей способности усиленного ребрами жесткости настила палубы. Если конфигурация конструкции такова, что данное допущение не действительно, то для получения запаса предельной прочности используется альтернативный метод.

2.2 Упрощенный метод, основанный на шагово-итерационном методе

2.2.1 Порядок действий

2.2.1.1 В данном подходе, запас предельной прочности эквивалентного бруса к воздействию изгибающего момента M_U, определяется, как пиковое значение на кривой с вертикальным изгибающим моментом M-кривизна, κ, сечения судна, как показано на *рис. А.1.1*.

2.2.1.2 Кривая M-κ получена с помощью шагово-итерационного метода, порядок действий приводится в *2.2.1.7* и наглядно показан на схеме *рис. А.2.2*.

2.2.1.3 Изгибающий момент M_i, действующий на поперечное сечение эквивалентного бруса вследствие приложенной кривизны κ_i, рассчитывается для каждого шага инкрементного процесса. Данная приложенная кривизна соответствует углу вращения поперечного сечения эквивалентного бруса вокруг действительной горизонтальной нейтральной оси, что вызывает осевые деформации ε в каждом элементе конструкции корпуса. В условиях прогиба элементы конструкции ниже нейтральной оси удлиняются, в то время, как элементы выше нейтральной оси укорачиваются.

2.2.1.4 Напряжение σ, вызванное в каждом элементе конструкции деформацией ε, снимается с кривой напряжения и деформации элемента σ-ε, учитывающей поведение связи в области упруго-пластической области.

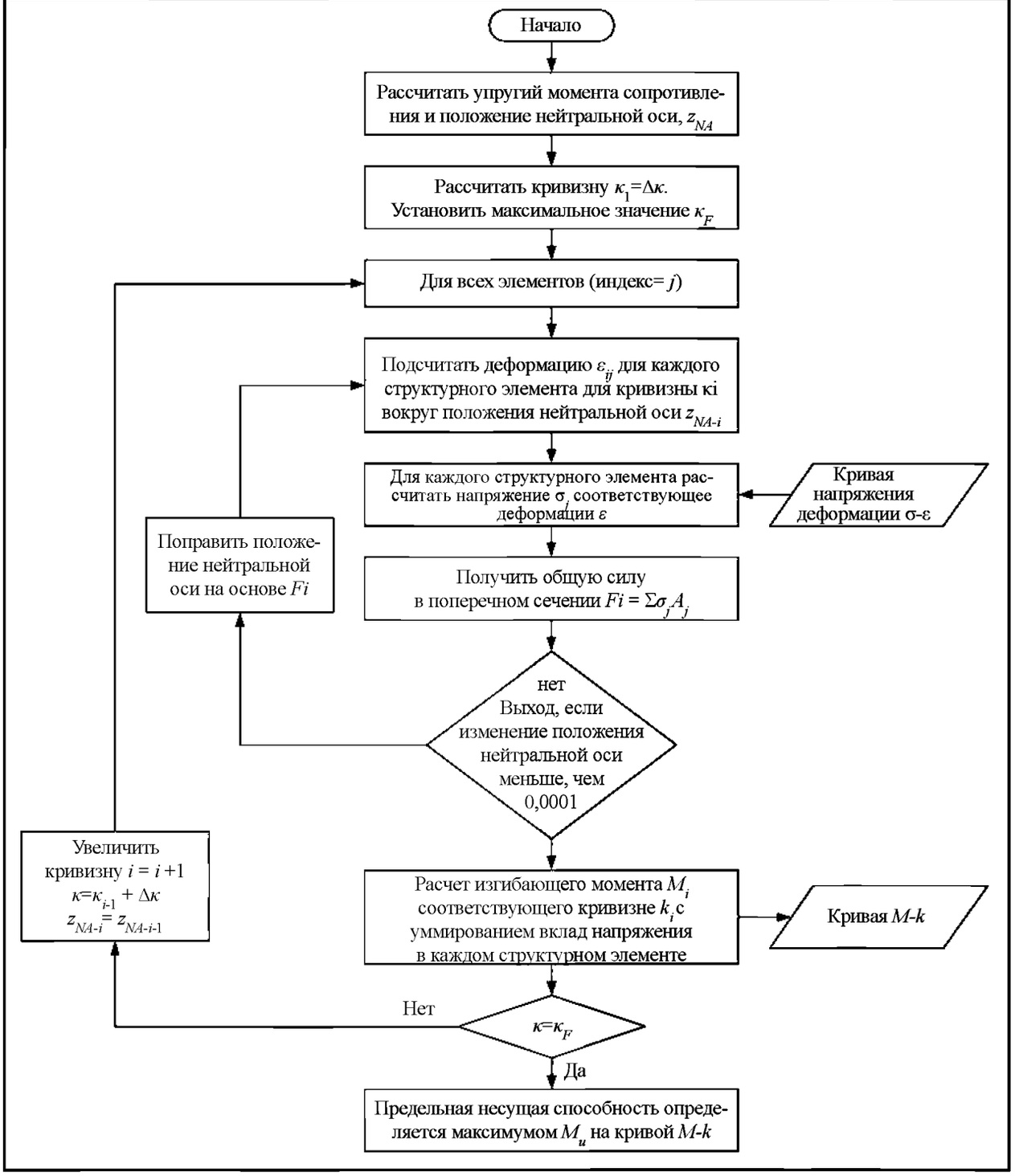
2.2.1.5 Сила, действующая в каждой связи конструкции, получается произведением площади элемента на напряжение. Данные силы суммируются для получения полной осевой силы, воздействующей в поперечном сечении. Следует отметить, что площадь элемента берется, как общая нетто площадь элемента конструкции. Полученная полная сила может не равняться нулю в силу возможного смещения эффективной нейтральной оси из-за нелинейного поведения конструкции.

Поэтому необходимо скорректировать положение нейтральной оси, пересчитать величину деформации элементов, воздействующих сил и полную силу в сечении так, чтобы полная сила стала равна нулю.

2.2.1.6 Как только стало известно положение новой нейтральной оси, то можно получить правильное распределение напряжений в элементах конструкции. Изгибающий момент M_i вокруг новой нейтральной оси в силу наложенной кривизны κ_i получается суммированием моментов, данных в результате действия сил в каждом элементе конструкции.

2.2.1.7 Основные действия при использовании шагово-итерационного подхода можно выразить следующим образом, (см. также *рис. А.2.2*):

Рис. А.2.2
Схема порядка действий по оценке кривой М-к



Действие 1 Разделить поперечное сечение эквивалентного бруса на элементы конструкции, т.е. продольные панели с ребрами жесткости, (одно ребро жесткости на элемент), жесткие углы и панели с поперечным усилением ребрами жесткости, см. *2.2.2.2*.

Действие 2 Получить кривые напряжений и деформации, (или, так называемые кривые нагрузки-укорочения) для всех элементов конструкции, см. *2.3*.

Действие 3 Получить предполагаемую максимально требуемую кривизну K_F, см. *2.2.1.8*. Размер шага кривизны, $\Delta\kappa$ принимается за $K_F/300$. Кривизна первого шага , κ_1 принимается как $\Delta\kappa$.

Получить нейтральную ось Z_{NA-i} по первому шагу приращения, (i=1), со значением упругого момента сопротивления сечения эквивалентного бруса, $Z_{v\text{-}net50}$, см. *раздел 4/2.6.1*.

Действие 4 Для каждого элемента, (индекс j), подсчитать деформацию $\varepsilon_{ij} = \kappa_i (z_j - Z_{NA-i})$ относящуюся к κ_i, соответствующее напряжение σ_j, см. *2.2.1.9*, и, следовательно, силу элемента $\sigma_j A_j$.

Действие 5 Определить положение новой нейтральной оси Z_{NA-i} путем проверки равновесия продольной силы по всему поперечному сечению. Следовательно, корректируется Z_{NA-i} до тех пор, пока:

$F_i = 0{,}1\,\Sigma A_j \sigma_j$ кН = 0

Следует заметить, что σ_j является положительной величиной для элементов конструкции, находящихся под сжатием, и отрицательной величиной для элементов под растяжением. Необходимо повторить с действия 4 до тех пор, пока не будет достигнуто условие равновесие. Данное равновесие считается удовлетворительным, если изменение положения нейтральной оси меньше 0,0001 м.

Действие 6 Рассчитать соответствующий момент, путем суммирования воздействующих сил всех элементов следующим образом:

$M_i = 0{,}1 \sum \sigma_j A_j |(z_j - z_{NA-i})|$ кНм.

Действие 7 Увеличить кривизну на величину $\Delta\kappa$, использовать текущее положение нейтральной оси в качестве начального значения для следующего прироста кривизны и повторить, начиная с действия 4 до достижения максимально необходимой кривизны. Максимальным пределом является пиковое значение M_u на кривой M-κ. Если пик не приходится на кривую, тогда необходимо увеличить K_F, чтобы достичь пика.

2.2.1.8 Ожидаемая максимально требуемая кривизна, K_F, м$^{-1}$, для условий прогиба принимается за:

$$\kappa_F = 3\,\frac{M_{yd}}{E_{Iv-net50}}\,10^{-3} \quad \text{м}^{-1},$$

где M_{yd} вертикальный изгибающий момент, получаемый при изгибе в упругой области до напряжения текучести палубы или киля. Данная величина принимается, как большее из:

$Z_{v\text{-}net50\text{-}dk}\,\sigma_{yd}\,10^3$ кНм;

$Z_{v\text{-}net50\text{-}kl}\,\sigma_{yd}\,10^3$ кНм;

$Z_{v\text{-}net50\text{-}dk}$, $Z_{v\text{-}net50\text{-}kl}$ момент сопротивления палубы или днища, м^3, см. *раздел 8/1.2.2.3* и *1.2.2.4*;

E модуль упругости, 2,06 × 10^5 Н/мм^2;

σ_{yd} указанный минимум напряжения при текучести материала, Н/мм^2;

$I_{v\text{-}net50}$ момент инерции эквивалентного бруса, м^4, см. *раздел 8/1.2.1.1*.

2.2.1.9 Для каждого элемента конструкции напряжение σ_j соответствующее деформации элемента ε_{ij} принимается за минимальное значение напряжения от всех воздействующих кривых напряжения и деформации σ-ε для данного элемента.

2.2.2 Допущения и моделирование сечения эквивалентного бруса

2.2.2.1 При применении порядка действий, описанных в *2.2.1*, следует сделать следующие допущения:

а) предел прочности рассчитывается по поперечному сечению эквивалентного бруса между двумя соседними поперечными связями;

б) поперечное сечение эквивалентного бруса остается плоским во время каждого приращения кривизны;
в) сталь, как материал, предполагается, что эластична и идеально пластична;
г) поперечное сечение эквивалентного бруса можно разделить на набор элементов, работающих независимо друг от друга.

2.2.2.2 Элементами, составляющими поперечное сечение эквивалентного бруса являются:

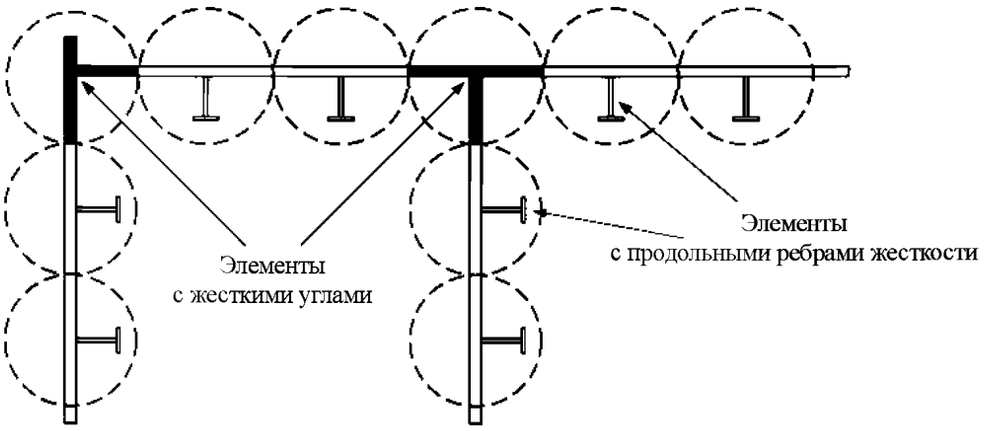
а) продольные ребра жесткости с примыкающей обшивкой, работа конструкции которых дана в *2.3.1*;
б) панели обшивки с поперечным усилением, работа конструкции которых дана в *2.3.1*;
в) жесткие углы, согласно *2.2.2.3*, работа конструкции которых дана в *2.3.2*.

2.2.2.3 Под жесткими углами понимаются следующие участки конструкции:

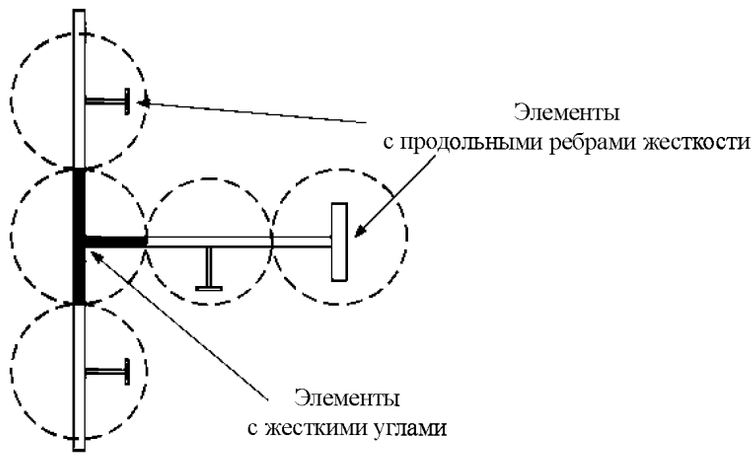
а) участок обшивки смежный с пересекающимися листами;
б) участок обшивки, смежный со стыками обшивки с углом более 30°;
в) листы обшивки, составляющие закругленные планширы;
Наглядный пример определения жесткого угла для балок по продольным переборкам дается на *рис. А.2.3*. Размер жесткого угла определяется, согласно *2.2.2.4*.

Рис. А.2.3
Примеры элементов конструкции

а) Пример, показывающий обшивку борта, внутреннюю обшивку и палубу. Элементы с жесткими углами, элементы с продольными ребрами жесткости



б) Пример балки продольной переборки. Элементы с жесткими углами, элементы с продольными ребрами жесткости



2.2.2.4 Размер и моделирование элементов с жесткими углами осуществляется следующим образом:

а) предполагается, что жесткий угол выступает на величину до $s/2$ в месте пересечения листов для листа с продольными ребрами жесткости, где s является расстоянием между ребрами;

б) предполагается, что жесткий угол выступает на величину до $20\,t_{grs}$ в месте пересечения листов для листа с поперечными ребрами жесткости, где t_{grs} является полной толщиной листа.

Примечание

Для листов с поперечными ребрами жесткости эффективная ширина листа по уменьшению нагрузки в части кривой напряжения и деформации принимается за полную ширину листа, т.е. до пересечения с другими листами, а не от конца жесткого угла. Площадь принимается по ширине между пересекающимися листами.

2.3 Кривые напряжения и деформации σ-ε (или кривые нагрузки – укорочения)

2.3.1 Панели обшивки и ребра жесткости

2.3.1.1 Предполагается, что поломка панелей обшивки и ребер жесткости происходит в результате одного из режимов поломки, указанных в *табл. А.2.1*. Соответствующие кривые напряжения и деформации σ-ε получают для удлинения или укорачивания напряжения, согласно *табл. А.2.1*.

2.3.2 Жесткие углы

2.3.2.1 Жесткие углы являются более прочными элементами, которые ломаются предположительно при потере эластичности или идеальной пластичности. Соответствующие кривые напряжения и деформации *σ-ε* получают для удлиненных или укороченных жестких углов, согласно *2.3.3*.

Таблица А.2.1

Режимы поломок панелей обшивки и ребер жесткости

Элемент	Режим поломки	Кривая напряжения-деформации *σ-ε*, согласно
Удлиненные панели обшивки с рамочными поперечными связями или ребра жесткости	Потеря эластичности и идеальной пластичности	См. *2.3.3*
Укороченные ребра жесткости	Осевая устойчивость	См *2.3.4*
	Боковая устойчивость	См *2.3.5*
	Устойчивость местных фланцевых профилей	См *2.3.6*
	Устойчивость местных плоских ребер	См *2.3.7*
Укороченные панели обшивки с рамочными поперечными связями	Устойчивость обшивки	См *2.3.8*

2.3.3 Упруго-пластическое разрушение элементов конструкции

2.3.3.1 Уравнение, описывающее кривую напряжения-деформации *σ-ε* или потери эластичности и пластичности элементов конструкции получено по формуле, действительной для положительного, (сжатие или укорачивание) жестких углов, или отрицательного, (напряжение или удлинение), деформации всех элементов, (см. *рис. А.2.4*):

$$\sigma = \Phi\, \sigma_{yd},$$

где Φ предельная функция:

$\Phi = -1$ для $\varepsilon < -1$;

$\Phi = \varepsilon$ для $-1 < \varepsilon < 1$;

$\Phi = 1$ для $\varepsilon > 1$;

ε относительная деформация:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{yd}};$$

ε_E деформация элемента;

ε_{yd} деформация, относящаяся к напряжению элемента при текучести:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{yd}}{E};$$

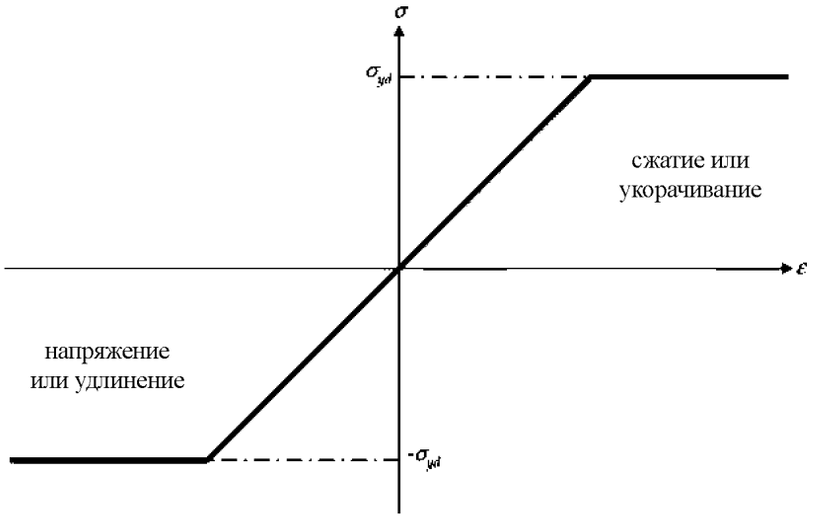
σ_{yd} минимальный предел текучести, Н/мм^2.

Примечание

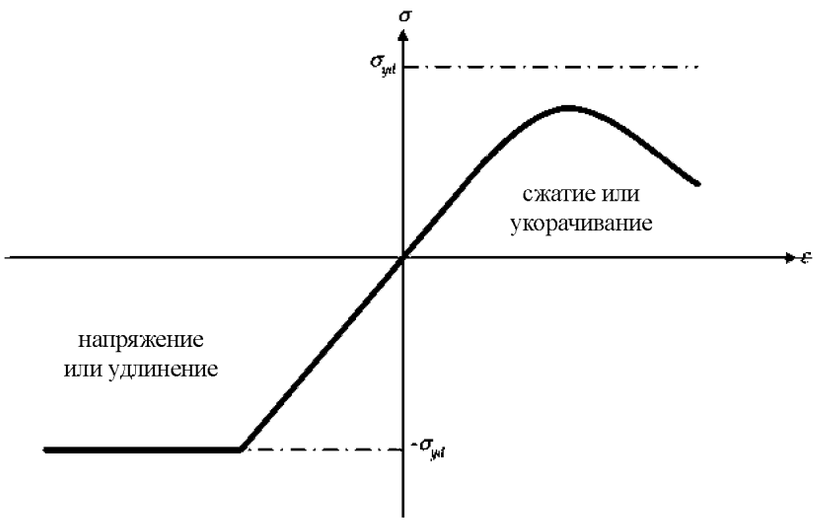
Знаки напряжений и деформаций в данном приложении противоположны тем, которые имеются в оставшейся части Правил.

Рис. А.2.4
Пример кривых напряжений и деформации *σ-ε*

а) Кривая напряжения и деформации *σ-ε* потери упруго-пластическое разрушение элементов с жесткими углами, $\sigma_{\sigma yd}$ - $_{\sigma yd}$ напряжение сжатия или укорачивания, или удлинения ε



б) Типичная кривая напряжения и деформации *σ-ε* Кривая напряжения и деформации ребра жесткости *σ ε -σyd σyd* напряжение или удлинение, сжатие или укорачивание, ε



2.3.4 Осевая устойчивость

2.3.4.1 Уравнение, описывающее укороченный фрагмент кривой напряжения и деформации $\sigma_{CR2} - \varepsilon$ осевой устойчивость ребер жесткости, получается по следующей формуле:

$$\sigma_{CR1} = \Phi\sigma_{CR1}\left(\frac{A_{s-net50} + 10^{-2} b_{eff-p} t_{net50}}{A_{s-net50} + 10^{-2} st_{net50}}\right) \text{ Н/мм}^2,$$

где Φ предельная функция, согласно *2.3.3.1*;

$A_{s-net50}$ площадь нетто ребра жесткости, см^2, без присоединенного пояска;

σ_{C1} критическое напряжение, Н/мм^2:

$$\sigma_{C1} = \frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon} \quad \text{для } \sigma_{E1} \le \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

$$\sigma_{C1} = \sigma_{yd}\left(1 - \frac{\Phi\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E1}}\right) \quad \text{для } \sigma_{E1} > \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

ε относительная деформация, согласно *2.3.3.1*;

σ_{E1} Эйлерово напряжение осевой устойчивости, Н/мм^2:

$$\sigma_{E1} = \pi^2 E \frac{I_{E-net50}}{A_{E-net50} l_{stf}^2} 10^{-4},$$

E модуль упругости, $2{,}06 \times 10^5$ Н/мм^2;

$I_{E-net50}$ чистый момент инерции ребер жесткости в см^4, с прикрепленной обшивкой ширины b_{eff-s};

b_{eff-s} эффективная ширин, мм, прикрепленной обшивки ребра жесткости:

$$b_{eff-s} = \frac{s}{\beta_p} \quad \text{для } \beta_p > 1{,}0;$$

$$b_{eff-s} = s \quad \text{для } \beta_p \le 1{,}0;$$

$$\beta_p = \frac{s}{t_{net50}}\sqrt{\frac{\varepsilon\sigma_{yd}}{E}};$$

s ширина листа, мм, принимаемая, как шпация ребер жесткости, согласно *разделу 4/2.2.1*;

t_{net50} толщина нетто присоединенного пояска, мм;

$A_{E-net50}$ площадь нетто, см^2, ребер жесткости с присоединенными поясками шириной b_{eff-p};

l_{stf} размах ребра жесткости, м, равный расстоянию между стойками основного силового набора;

b_{eff-p} эффективная ширина обшивки, мм:

$$b_{eff-p} = \left(\frac{2{,}25}{\beta_p} - \frac{1{,}25}{\beta_p^2}\right)s \quad \text{для } \beta_p > 1{,}25;$$

$$b_{eff-p} = s \quad \text{для } \beta_p \le 1{,}25.$$

2.3.5 Боковая устойчивость ребер жесткости

2.3.5.1 Уравнение, описывающее укороченную часть кривой напряжения и деформации $\sigma_{CR2} - \varepsilon$ для поперечной гибкой устойчивость ребер жесткости, получается по следующей формуле:

$$\sigma_{CR2} = \Phi\frac{A_{s-net50}\sigma_{C2} + 10^{-2} st_{net50}\sigma_{CP}}{A_{s-net50} + 10^{-2} st_{net50}} \text{ Н/мм}^2,$$

где Φ предельная функция, согласно *2.3.3.1*;

$A_{s-net50}$ площадь нетто ребра жесткости, см^2, без присоединенного пояска,

σ_{C2} критическое напряжение, Н/мм^2:

$$\sigma_{C2} = \frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon} \quad \text{для } \sigma_{E2} \le \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

$$\sigma_{C2} = \sigma_{yd}\left(1 - \frac{\Phi\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E2}}\right) \quad \text{для } \sigma_{E2} > \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

σ_{E2} Эйлерово напряжение устойчивости Н/мм^2:

$\sigma_{E2} = \sigma_{ET}$

σ_{ET} ссылочное напряжение для боковой устойчивости, Н/мм^2, согласно *разделу10/3.3.3.1*, рассчитанного по полной толщине минус коррозийный припуск $0{,}5\,t_{corr}$;

ε относительная деформация, согласно *2.3.3.1*;

s ширина листа, мм, принимаемая, как шпация ребер жесткости, согласно *разделу 4/2.2.1*;

$t_{s-net50}$ толщина прикрепленной обшивки, мм;

σ_{CP} предел прочности прикрепленной обшивки ребра жесткости в Н/мм^2:

$$\sigma_{CP} = \left(\frac{2{,}25}{\beta_p} - \frac{1{,}25}{\beta_p^2}\right)\sigma_{yd} \quad \text{для } \beta_p > 1{,}25;$$

$$\sigma_{CP} = \sigma_{yd} \quad \text{для } \beta_p \le 1{,}25;$$

β_p коэффициент, согласно *2.3.4.*

2.3.6 Местная устойчивость стенок ребра жесткости с фланцевым профилем

2.3.6.1 Уравнение, описывающее укороченную часть кривой напряжения и деформации $\sigma_{CR3} - \varepsilon$ местной устойчивости стенок ребра жесткости с фланцевым профилем, получается по следующей формуле:

$$\sigma_{CR3} = \Phi\sigma_{yd}\left(\frac{b_{eff-s}t_{net50} + d_{w-eff}t_{w-net50} + b_f t_{f-net50}}{st_{net50} + d_w t_{w-net50} + b_f t_{f-net50}}\right) \text{ Н/мм}^2,$$

где Φ предельная функция, согласно *2.3.3.1*;

b_{eff-s} ширина прикрепленного листа мм, согласно *2.3.4*;

t_{net50} чистая толщина обшивки, мм;

d_w глубина стенки, мм;

$t_{w-net50}$ толщина нетто стенки, мм;

b_f ширина фланца, мм;

$t_{f-net50}$ толщина нетто фланца, мм;

s ширина листа обшивки, мм, принимаемая, как шпация ребер жесткости, согласно *разделу 4/2.2.1*;

d_{w-eff} эффективная ширина обшивки, мм:

$$b_{w-eff} = \left(\frac{2{,}25}{\beta_w} - \frac{1{,}25}{\beta_w^2}\right)d_w \quad \text{для } \beta_w > 1{,}25;$$

$$b_{w-eff} = d_w \quad \text{для } \beta_w \le 1{,}25;$$

$$\beta_w = \frac{d_w}{t_{w-net50}}\sqrt{\frac{\varepsilon\sigma_{yd}}{E}};$$

ε относительная деформация, согласно *2.3.3.1*;

E модуль упругости, $2{,}06 \times 10^5$ Н/мм^2.

2.3.7 Местная устойчивость полос ребер жесткости

2.3.7.1 Уравнение, описывающее укороченную часть кривой напряжения и деформации $\sigma_{CR4} - \varepsilon$ местного устойчивости полос ребер жесткости, рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_{CR4} = \Phi\left(\frac{st_{net50}\sigma_{CP} + 10^{-2}A_{s-net50}\sigma_{C4}}{st_{net50} + 10^{-2}A_{s-net50}}\right),$$

где Φ предельная функция, согласно *2.3.3.1*;

σ_e предел прочности прикрепленной обшивки ребра жесткости, Н/мм^2, согласно *2.3.5*;

σ_{c4} критическое напряжение, Н/мм^2:

$$\sigma_{c4} = \frac{\sigma_{c4}}{\varepsilon} \quad \text{для } \sigma_{E4} \le \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

$$\sigma_{c4} = \sigma_{yd}\left(1 - \frac{\Phi\sigma_{yd}\varepsilon}{4\sigma_{E4}}\right) \quad \text{для } \sigma_{E4} > \frac{\sigma_{yd}}{2}\varepsilon;$$

σ_{E4} Эйлерово напряжение устойчивости, Н/мм^2:

$$\sigma_{E4} = 160000\left(\frac{t_{w-net50}}{d_w}\right)^2$$

ε относительная деформация, согласно *2.3.3.1*;
$A_{s-net50}$ площадь нетто ребра жесткости, см^2, см. *2.3.5.1*;
$t_{w-net50}$ толщина нетто стенки, мм;
d_w глубина стенки, мм;
t_{net50} толщина нетто обшивки, мм;
s ширина листа обшивки мм, принимаемая, как шпации ребер жесткости, согласно *разделу 4/2.2.1*.

2.3.8 Устойчивость панелей обшивки с поперечными ребрами жесткости

2.3.8.1 Уравнение, описывающее укороченную часть кривой напряжения и деформации $\sigma_{CR5} - \varepsilon$ устойчивости панелей обшивки с поперечными ребрами жесткости, рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_{CR5} = \min\begin{cases} \sigma_{yd}\left[\dfrac{s}{1000\,l_{stf}}\left(\dfrac{2{,}25}{\beta_p} - \dfrac{1{,}25}{\beta_p^2}\right) + 0{,}1\left(1 - \dfrac{s}{1000\,l_{stf}}\right)\left(1 + \dfrac{1}{\beta_p^2}\right)^2\right] \\ \sigma_{yd}\,\Phi \end{cases} \text{ Н/мм}^2;$$

где β_p коэффициент, согласно *2.3.4.1*;
Φ предельная функция, согласно *2.3.3.1*;
s ширина листа обшивки, мм, принимаемая, как шпации ребер жесткости, согласно *разделу 4/2.2.1*;
l_{stf} размах ребра жесткости, м, равный шпации между стойками основного силового набора;
σ_{yd} указанный минимум напряжения при текучести материала, Н/мм^2.

3 Альтернативные методы

3.1 Общие положения

3.1.1 Факторы, требующие учета, при проведении альтернативного моделирования

3.1.1.1 Взаимодействие изгибающего момента и кривизны, *M-к*, можно установить с помощью альтернативных методов. В подобных моделях требуется рассмотрение всех соответствующих воздействий, важных с точки зрения реакции и учетом следующих факторов:

а) нелинейного геометрического поведения конструкции;
б) поведения материала конструкции при потере упругости;
в) геометрических отступлений и остаточных напряжений, (геометрический отход от плоскостности листа и ребер жесткости);
г) одновременного воздействия нагрузок:
- двухосевого сжатия;
- двухосевого напряжения;
- срезывающего и бокового давления

д) граничных условий;
е) взаимодействия между режимами изгибания;
ж) взаимодействия между элементами конструкции, как листы обшивки, ребра жесткости, балки и т.д.;
з) устойчивость после воздействия продольного изгиба.

3.2 Методы

3.2.1 Шагово-итерационный метод

3.2.1.1 Наиболее широко используемым методом оценки способности выдержать предельный момент эквивалентного бруса, является получение величины взаимодействия нелинейного момента и кривизны, *M-к*, путем увеличения прироста кривизны изгиба, *к*, секции корпуса между двумя соседними поперечными связями, с последующим определением максимального момента на полученной кривой в качестве предельной способности работы на изгиб, M_U.

3.2.1.2 Кривая *M-к* основана на осевых нелинейных *P-ε* (нагрузка/деформация) кривых нагрузки-укорачивания для каждого элемента конструкции в сечении. Кривые *P-ε* должны учитывать все важнейшие воздействия на конструкцию, согласно *3.1.1.1*.

3.2.2 Анализ нелинейного конечного элемента

3.2.2.1 Модели расширенного нелинейного анализа конечного элемента могут использоваться для определения предела прочности эквивалентного бруса. В этих моделях необходимо учитывать соответствующее воздействие, важное с точки зрения нелинейной реакции, принимая во внимание положения, перечисленные в *3.1.1.1*.

3.2.2.2 В частности, необходимо обратить внимание на моделирование отступлений от геометрической формы и размеров. Следует помнить, что отклонения от геометрической формы и размеров приводят к наиболее опасным состояниям неисправностей.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ

1 Общие положения

1.1 Область применения

1.1.1 Общие положения

1.1.1.1 В соответствии с *разделом 9/2.1.* для проверки прочности конструкции корпуса должна проводиться оценка методом конечных элементов.

1.1.1.2 Оценка конструктивной прочности должна производиться в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем приложении. Оценка конструктивной прочности должна удостоверить, что указанные критерии удовлетворяются.

1.1.1.3 Требования, изложенные в настоящем приложении, относятся к оценке продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, главных несущих элементов и поперечных переборок в средней грузовой зоне и дополнительно к оценке подкрепления продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на срез, как определено в *разделе 9/2.2.1.1* и *разделе 4/табл. 4.1.1*, в районе поперечных переборок для срезывающих усилий эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, в носовой и кормовой грузовой зоне. Оценка конструктивной прочности продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, приведенная в данном приложении, не может быть применима к носовой поперечной таранной переборке, поперечной переборке машинного отделения и поперечным переборкам отстойного танка.

1.1.1.4 При оценке конструктивной прочности методом конечных элементов районы расположения грузовых танков принимаются такими, как показано на *рис. В.1.1.*

1.1.1.5 Анализ конструктивной прочности грузовых танков в соответствии с *приложением В/2* для оценки прочных размеров продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, основных опорных конструктивных элементов и поперечных переборок в танках в пределах средней грузовой зоны является обязательным. Оценка должна основываться на максимально допустимых срезывающих усилиях эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде (комбинация нагрузок S) и комбинированных допустимых срезывающих усилиях эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде и на волнении (комбинация нагрузок S+D) между (и включая) носовой переборкой ближайшего к корме грузового танка и линией, расположенной на расстоянии 0,65*L* от кормового перпендикуляра, но не включая поперечные переборки машинного отделения и отстойного танка, см. *рис. В.1.1(а).*

1.1.1.6 Оценка продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в носовой грузовой зоне в соответствии с *приложением В/2* обязательна. Усиление этих конструктивных элементов в районе поперечных переборок в танках носовой грузовой зоны может основываться на максимально допустимых перерезывающих сил эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде (комбинация нагрузок S) и комбинированных допустимых перерезывающих сил эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде и на волнении (комбинация нагрузок S +D) в районе установки переборок в нос от линии, расположенной на расстоянии 0,65*L* от кормового перпендикуляра, но не включая носовую таранную переборку, см. *рис. В.1.1(б).*

1.1.1.7 Усиление продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в районе поперечных переборок танков в средней грузовой зоне и в кормовой грузовой зоне в соответствии с *приложением В/2* может основываться на прочных размерах, полученных в результате анализа для грузовых танков в средней зоне, как описано в *1.1.1.5.*

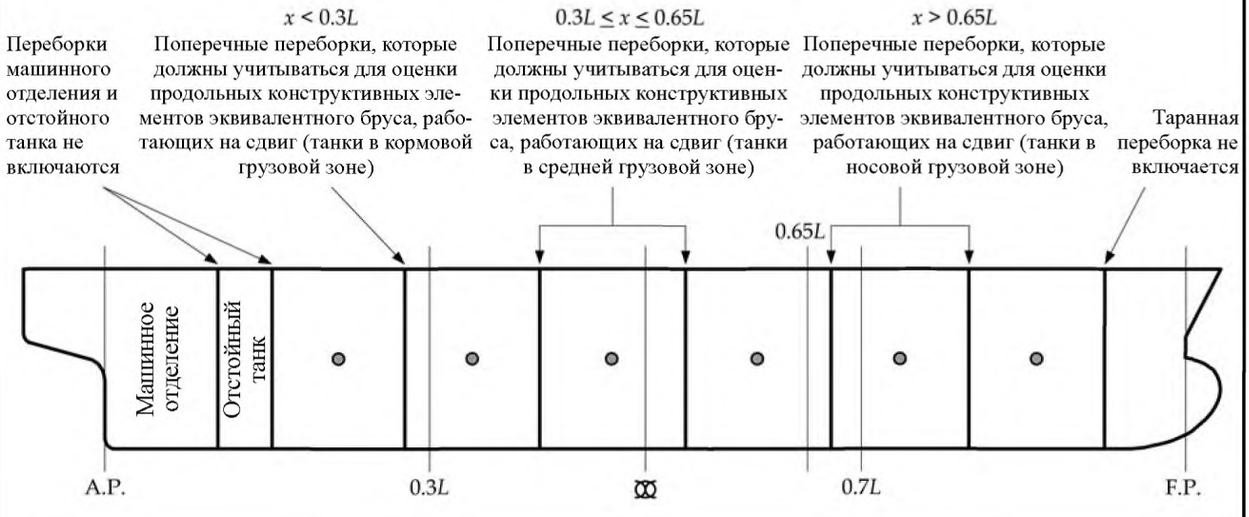
1.1.1.8 В качестве альтернативы может быть выполнена факультативная оценка для определения потребности усиления продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в районе отдельных поперечных переборок, основываясь на допустимых перерезывающих силах эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде (комбинация нагрузок S) и на комбинированных допустимых срезывающих усилиях эквивалентного бруса, действующих в вертикальной плоскости, на тихой воде и на волнении (комбинация нагрузок S + D) в месте расположения рассматриваемой поперечной переборки, см. *рис. B.1.1(б)*.

Рис. B.1.1
Определение грузовых зон для оценки конструктивной прочности методом конечных элементов

а) Оценка прочности грузовых танков в средней грузовой зоне



б) Оценка продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг



Примечания

1. Танки в носовой грузовой зоне определяются как танки с абсциссой центра тяжести, расположенной в нос от линии, находящейся на расстоянии 0,7 L от кормового перпендикуляра.

2. Танки в носовой грузовой зоне определяются как танки с абсциссой центра тяжести, расположенной на или в нос от линии, находящейся на расстоянии 0,3 L от кормового перпендикуляра, и на или в корму от линии, расположенной на расстоянии 0,7 L от кормового перпендикуляра.

3. Танки в носовой грузовой зоне определяются как танки с абсциссой центра тяжести, расположенной в корму от линии, находящейся на расстоянии 0,3 L от кормового перпендикуляра.

1.1.1.9 Анализ методом конечных элементов с использованием сетки с малым шагом в соответствии с *приложением В/3*, и основывающаяся на методе конечных элементов оценка усталости излома соединения наклонного скулового участка второго дна, в соответствии с *приложением В/4*, являются обязательными для средней грузовой зоны.

1.2 Условные обозначения и определения

1.2.1 Общие положения

1.2.1.1 Условные обозначения и определения, которые могут применяться в настоящем разделе, приведены в *разделе 4/1* и *разделе 7* и являются следующими:

a_v вертикальное ускорение, определенное в центре тяжести танка;
a_t поперечное ускорение, определенное в центре тяжести танка;
a_{lng} продольное ускорение, определенное в центре тяжести танка;
E модуль упругости стали, 2,06 x 10^5 Н/мм^2;
M_{vw} волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, для состояния динамической нагрузки;
M_{sw} изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, на тихой воде для модели нагрузки по методу конечных элементов;
M_h волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, для состояния динамической нагрузки;
Q_{wv} волновое срезывающее усилие, действующее в вертикальной плоскости, для состояния динамической нагрузки;
Q_{sw} срезывающее усилие, действующее в вертикальной плоскости, на тихой воде для модели нагрузки по методу конечных элементов;
T_{LC} осадка в рассматриваемом случае нагрузки;
T_{sc} максимальная осадка по условиям прочности, как определено в *разделе 4/1.1.15.1;*
$T_{bal\text{-}em}$ осадка судна при приеме большого количества балласта;
t_{grs} предлагаемая полная толщина для нового судна без надбавок владельца, см. *раздел 2/6.3.4;*
t_{corr} припуск на коррозию, как определено в *табл. 6.3.1*;
σ_{yd} спецификационный предел текучести материала, Н/мм^2;
σ_{vm} напряжение по Мизесу;

$$= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2};$$

σ_x осевое напряжение в направлении x элемента;
σ_y осевое напряжение в направлении y элемента;
τ_{xy} срезывающее напряжение элемента в плоскости x-y;
δ_x смещение в направлении x в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4;*
δ_y смещение в направлении y в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4;*
δ_z смещение в направлении z в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4;*
θ_x вращение относительно оси x в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4;*
θ_y вращение относительно оси y в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4;*
θ_z вращение относительно оси z в соответствии с системой координат, определенной в *разделе 4/1.4.*

1.2.1.2 Номенклатура конструктивных элементов определяется в *разделе 4/1.5.*

1.2.1.3 Согласованные системы координат и единиц измерения должны использоваться на всех этапах анализа конструкции. Однако при расчетах с использованием формул Правил должны использоваться оговоренные единицы измерения и система координат. Если выходные величины формул Правил выражены в иных единицах измерения и/или системе координат, чем те, которые используются в анализе конструкции, выходные величины должны быть преобразованы в надлежащие единицы измерения и систему координат.

1.2.2 Виды конечных элементов

1.2.2.1 Оценка конструкции должна основываться на линейном анализе методом конечных элементов трехмерных моделей для исследования конструкции. Основные виды конечных элементов, которые должны использоваться в анализе методом конечных элементов, приведены в *табл. В.1.1.*

1.2.2.2 Два узловых линейных элемента и три или четыре узловых листовых/оболочечных элемента считаются достаточными для представления конструкции корпуса. Требования к сетке, приведенные в данном приложении, основываются на предположении, что эти элементы используются в моделях конечных элементов. Однако могут также использоваться элементы более высоких порядков.

Таблица В.1.1

Виды конечных элементов

Прутковый (или ферменный) элемент	Линейный элемент только с осевой жесткостью и постоянной площадью поперечного сечения вдоль элемента
Балочный элемент	Линейный элемент с осевой жесткостью при скручивании и двунаправленном сдвиге и изгибе и с постоянными свойствами по длине элемента
Мембранный (или в плоском напряженном состоянии) листовой элемент	Листовой элемент с двухосевой и плоской жесткостью с постоянной толщиной
Оболочечный (или изгибный листовой) элемент	Листовой элемент с плоской жесткостью и антиплоской жесткостью при изгибе с постоянной толщиной

1.2.2.3 Для анализа прочности грузовых танков и анализа прочности с использованием сетки с малым шагом, как указано в *приложении В/2 и В/3*, оценка по критериям приемки напряжений должна основываться на мембранных (или плоских) напряжениях листовых элементов. Для оценки усталости, как указано в *приложении В/4*, расчет размаха динамических напряжений для определения усталостной долговечности должен основываться на напряжениях на поверхности листовых элементов.

2 Анализ конструктивной прочности грузовых танков

2.1 Оценка

2.1.1 Общие положения

2.1.1.1 Для танкеров обычной конструкции оценка прочности эквивалентного бруса и основных опорных конструктивных элементов методом конечных элементов должна соответствовать требованиям настоящего раздела.

2.2 Построение моделей для исследования конструкций

2.2.1 Общие положения

2.2.1.1 Протяженность в продольном направлении конечноэлементной модели среднего грузового танка должна охватывать три длины грузового танка в районе средней части судна. Если танки в средней грузовой зоне имеют различную длину, средний танк конечноэлементной модели должен представлять танк наибольшей длины. Конечноэлементная модель может быть призматической. Должны быть представлены поперечные переборки на концах модели. Если установлены гофрированные поперечные переборки, модель должна включать протяженность опорных конструкций переборок в нос и корму от танков на концах модели. Длина участков модели, простирающихся за концевые поперечные переборки, должна быть одинаковая на обоих концах.

Должны моделироваться рамные шпангоуты на концах модели. Типичные конечноэлементрые модели, представляющие среднюю грузовую зону танкеров различного конструктивного оформления, показаны на *рис. В.2.1.*

2.2.1.2 Оценка продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, как определено в *разделе 9/2.2.1.1* и *разделе 4/табл. 4.1.1*, по вертикальным срезывающим нагрузкам в носовой и кормовой грузовой зоне может основываться на конечноэлементной модели среднего грузового танка с модификацией свойств листов и ребер жесткости там, где это уместно. Если для оценки прочности при срезе используется отдельная конечноэлеметная модель грузового танка, модель должна охватывать три длины танка.

2.2.1.3 Должны быть моделированы как левый, так и правый борт судна. Необходимо моделировать высоту борта судна.

2.2.1.4 Должны быть смоделированы все основные продольные и поперечные конструктивные элементы. Они включают внутреннюю и наружную обшивку, настил двойного дна и систему балок, поперечные и вертикальные шпангоутные рамы, продольные и поперечные связи и конструкции продольных переборок. Должны моделироваться все листы и ребра жесткости набора, включая кницы для подкрепления стенки рамных балок, см. *2.2.1.11.*

2.2.1.5 Редуцированная толщина, используемая в конечноэлементной модели грузовых танков, которая может относиться ко всей обшивке и стенкам и полкам ребер жесткости, должна рассчитываться следующим образом:

$$t_{FEM\text{-}net50} = t_{grs} - 0{,}5\, t_{corr},$$

где t_{grs} полная толщина, как определено в *1.2;*
t_{corr} припуск на коррозию, как определено в *табл. 6.3.1.*

2.2.1.6 Сетка листовых элементов должна по возможности соответствовать системе обеспечения жесткости, представляя таким образом фактические плоские панели между ребрами жесткости. Как правило, сетка листовых элементов должна удовлетворять следующим требованиям:

а) один элемент между каждым продольным ребром жесткости, см. *рис. В.2.2.*
В продольном направлении длина элемента не должна быть больше, чем две шпации в продольном направлении;

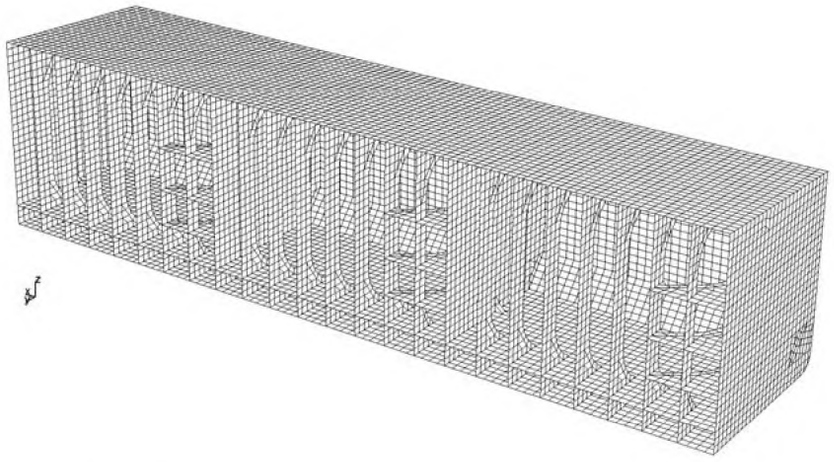
б) один элемент между каждым вертикальным ребром жесткости на поперечных переборках, см. *рис. В.2.3;*

в) один элемент между каждой кницей для подкрепления стенки рамных балок на поперечных и вертикальных шпангоутных рамах, поперечных и продольных связях, см. *рис. В.2.2* и *рис. В.2.4;*

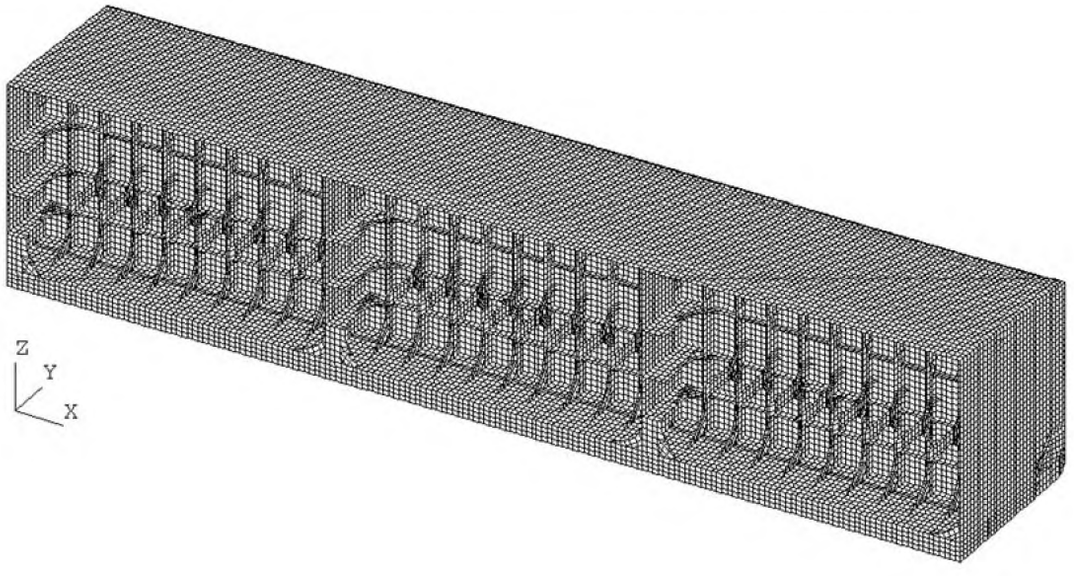
г) не менее трех элементов по высоте продольных балок и флоров двойного дна, поперечных шпангоутных рам, вертикальных шпангоутных рам и горизонтальных балок на поперечных переборках. Для поперечных связей танков, палубных поперечных связей и горизонтальных балок поперечных отбойных переборок и продольных переборок с меньшей высотой стенки, приемлемо представление с использованием двух элементов по высоте при условии, что между каждой кницей для подкрепления стенки рамных балок имеется, по меньшей мере, один элемент. Соответственно должен быть отрегулирован размер сетки соседней конструкции;

д) сетка на шпангоутной раме скуловой цистерны должна иметь достаточно малый шаг, чтобы представлять форму отверстия шпангоутной рамы, см. *рис. В.2.2;*

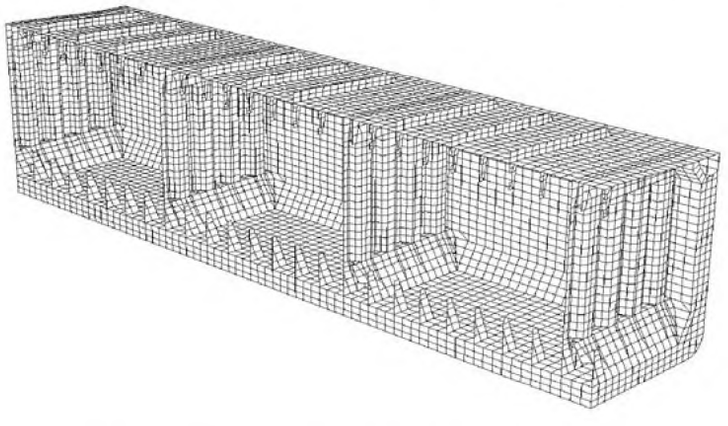
Рис. В.2.1
Типичные конечноэлементные модели для 3 танков, представляющие среднюю грузовую зону танкеров



Типичная модель грузового танка для танкера типа Afra Max
(показана только сторона с правого борта модели в полную ширину)

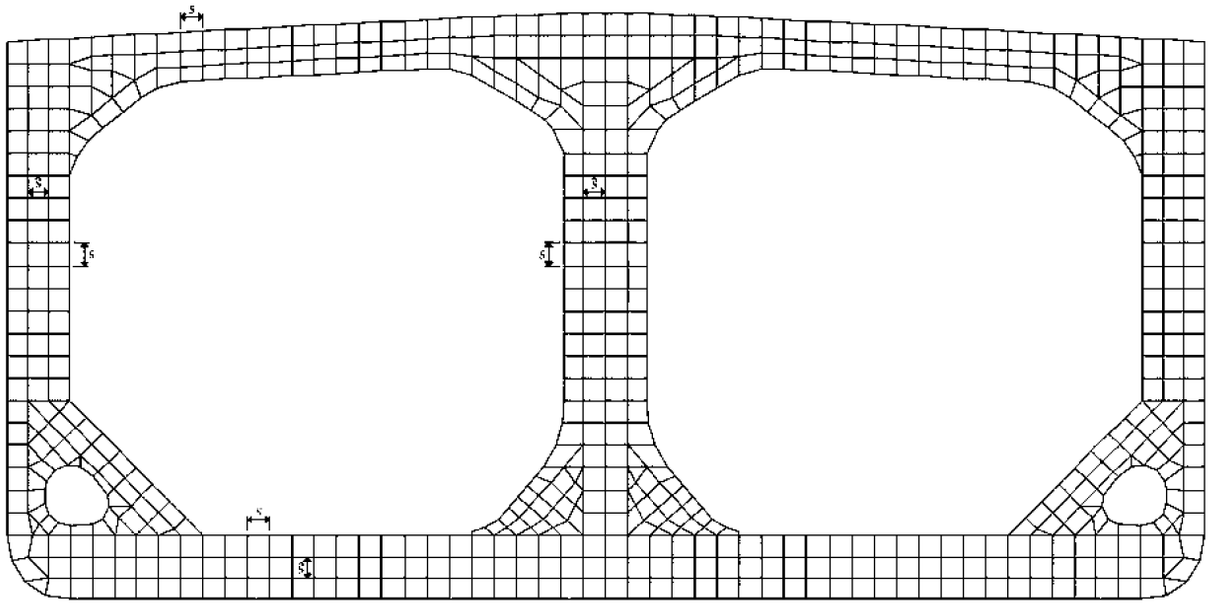


Типичная модель грузового танка крупнотоннажного танкера
(показана только сторона с левого борта модели в полную ширину)



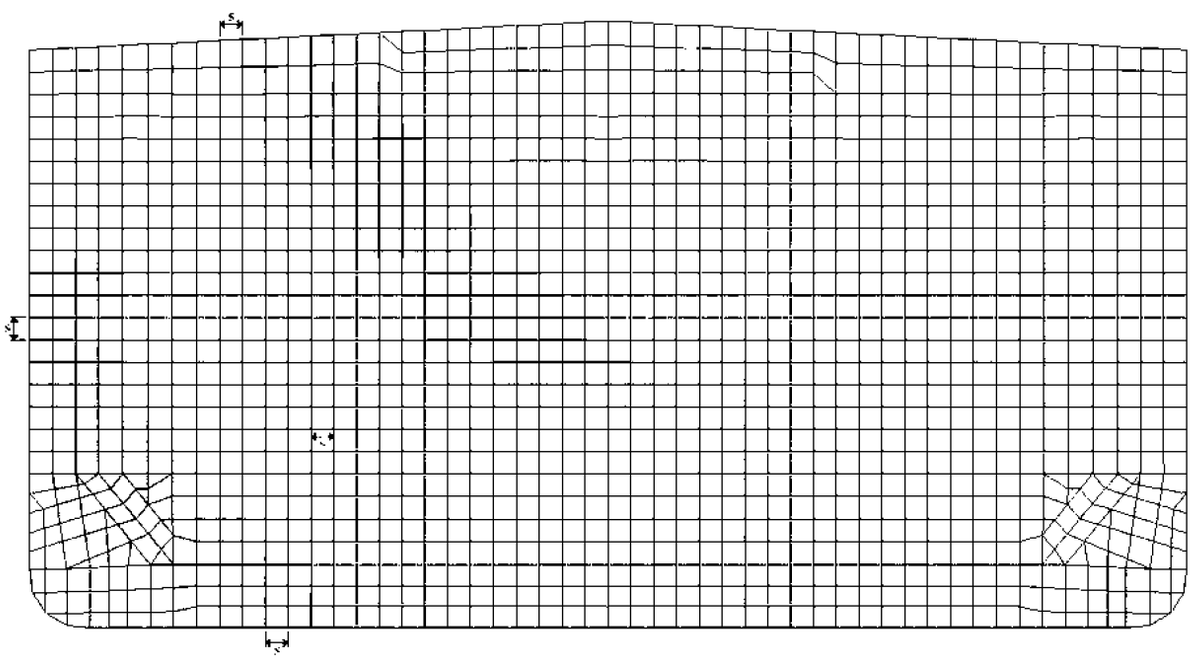
Типичная модель грузового танка танкера-продуктовоза
(показана только сторона с левого борта модели в полную ширину)

Рис. B.2.2
Типичная конечноэлементная сетка для шпангоутной рамы



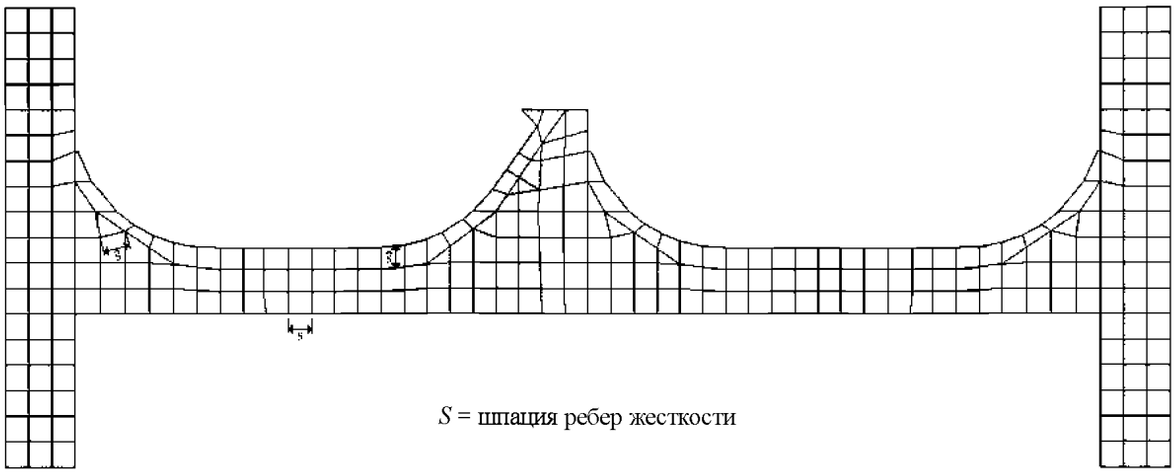
S = шпация ребер жесткости

Рис. B.2.3
Типичная конечноэлементная сетка для поперечной переборки



S = шпация ребер жесткости

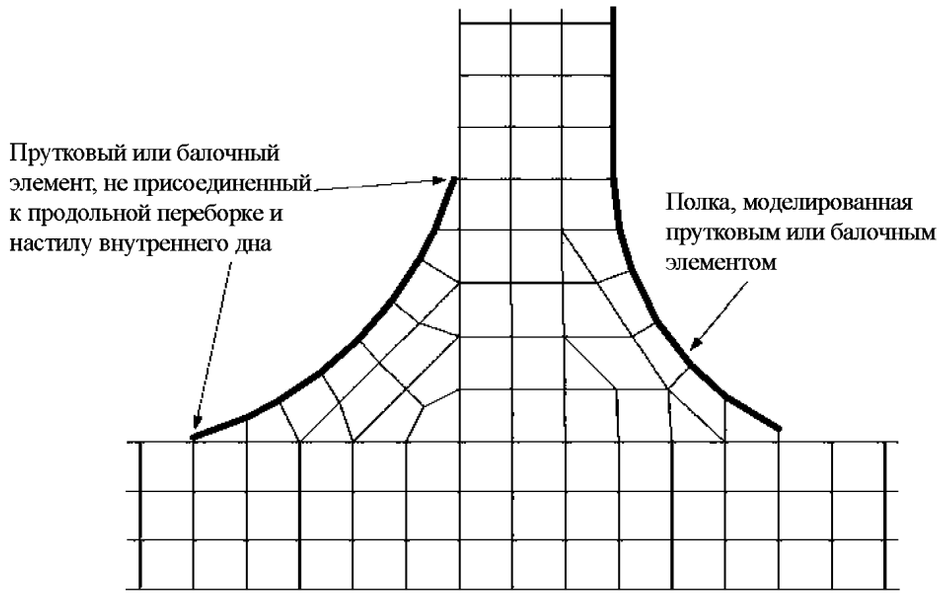
Рис. В.2.4
Типичная конечноэлементная сетка для горизонтальной поперечной балки на поперечной переборке



S = шпация ребер жесткости

е) кривизна свободной кромки крупных книц основных опорных конструктивных элементов должна точно моделироваться, чтобы избежать нереальных высоких напряжений вследствие нарушения геометрической непрерывности. Как правило, приемлем размер сетки, равный расстоянию между ребрами жесткости. Конец кницы может заканчиваться в ближайшей узловой точке, при условии, что смоделированная длина ветви кницы не превышает фактическую длину ветви кницы. Фланец кницы не должен присоединяться к обшивке, см. *рис. В.2.5*. Моделирование сужающейся части фланца должно соответствовать *2.2.1.14*. Приемлемая сетка показана на *рис. В.2.5*. Сетка с меньшим шагом должна использоваться для определения детальных напряжений на конце кницы, см. *приложение В/3*.

Рис. В.2.5
Типичная конечноэлементная сетка для основной кницы рамного шпангоута



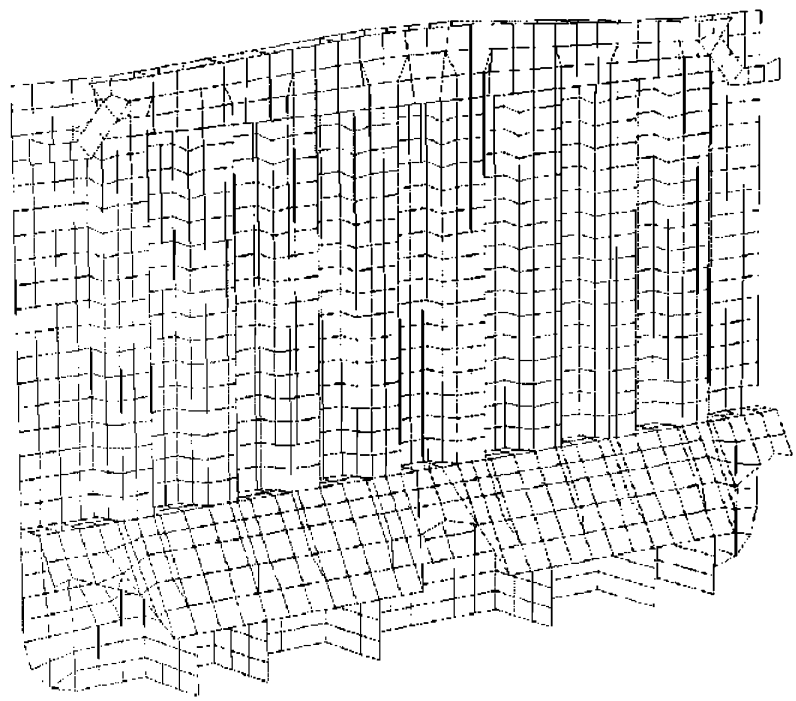
2.2.1.7 Гофрированные переборки и трапециидальные опоры переборок должны моделироваться с использованием оболочечных листовых элементов, см. *рис. В.2.6*. Диафрагмы в опорах и внутренние продольные и вертикальные ребра жесткости на обшивке опор должны быть включены в модель. Моделирование должно выполняться следующим образом:

а) сетка оболочечных элементов на полке и стенке гофра должна, как правило, соответствовать шпации между ребрами жесткости внутри опоры переборки;

б) если возникают трудности в подгонке сетки на гофрах непосредственно к сетке на трапециидальной опоре, целесообразно откорректировать сетку на опорах в районе гофров с тем, чтобы гофрированная переборка сохранила свою первоначальную геометрическую форму. Однако, если форма гофра откорректирована с тем, чтобы упростить процедуру моделирования, это должно быть учтено при оценке напряжений, как указано в *2.7.2.6*;

в) для гофрированной переборки без верхней опоры может оказаться необходимым откорректировать геометрию для упрощения моделирования. Корректирование должно быть выполнено так, чтобы сохранились форма и положение гофров и основных опорных конструктивных элементов. Поэтому, при необходимости корректирование должно быть выполнено на швах ребер жесткости и листов.

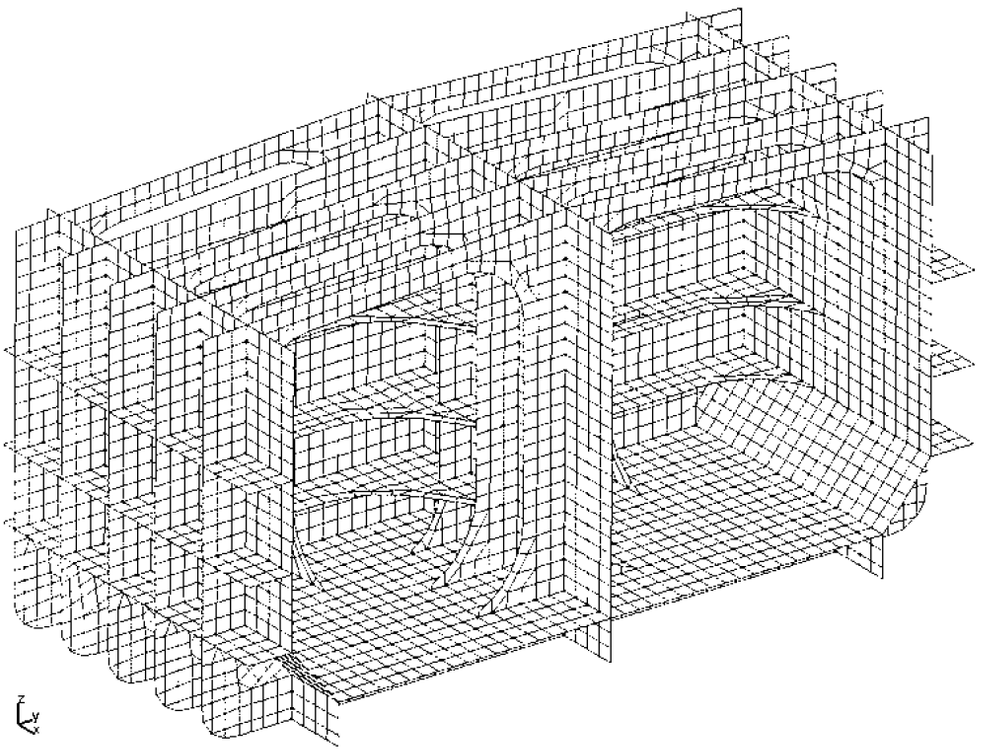
Рис. В.2.6
Типичная конечноэлементная сетка для поперечной гофрированной переборки



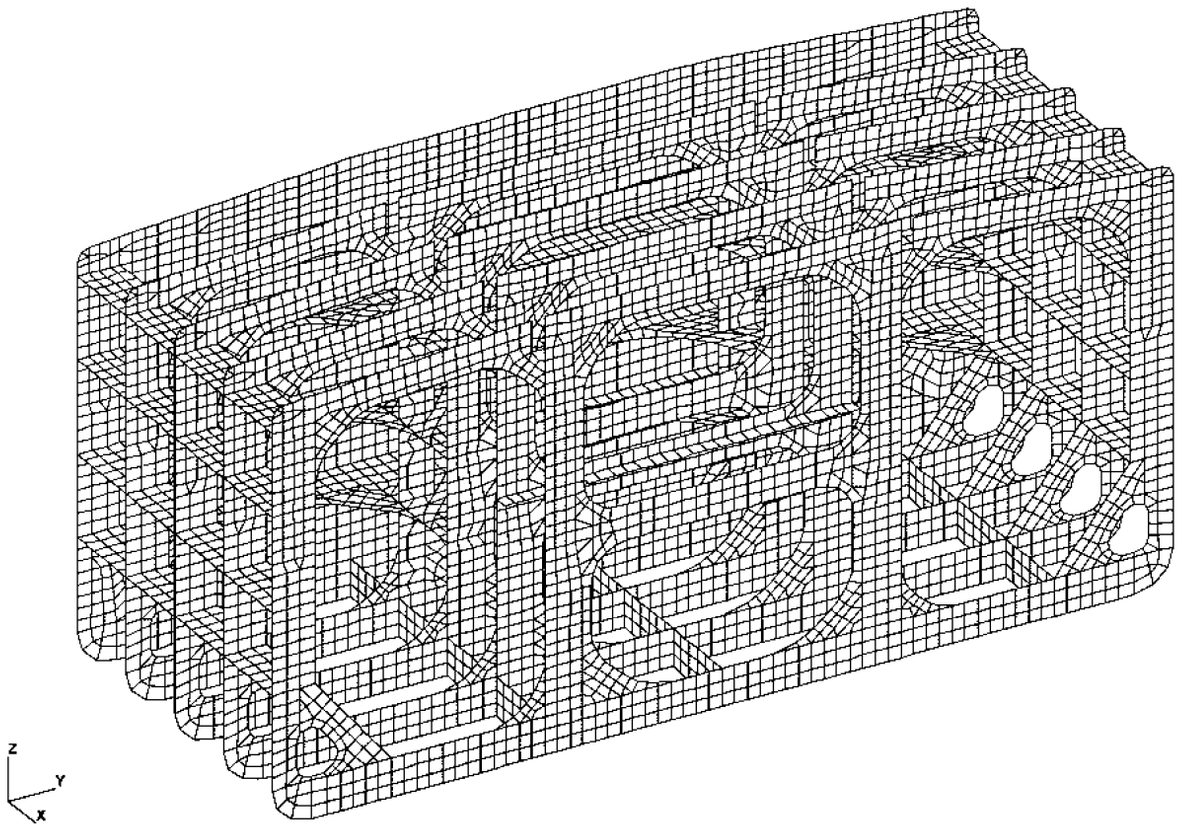
2.2.1.8 Отношение длины листовых элементов к их ширине, как правило, не должно превышать 3. Использование треугольных листовых элементов должно быть минимальным. Если возможно, отношение длины листовых элементов к их ширине в районах, где возможны высокие напряжения или большой градиент напряжений, должно быть близко 1, и использование треугольных элементов должно быть исключено.

2.2.1.9 Типичные схемы сеток конструкции грузового танка показаны на *рис. В.2.7*.

Рис. В.2.7
Схема типичной конечноэлементной сетки конструкции грузового танка

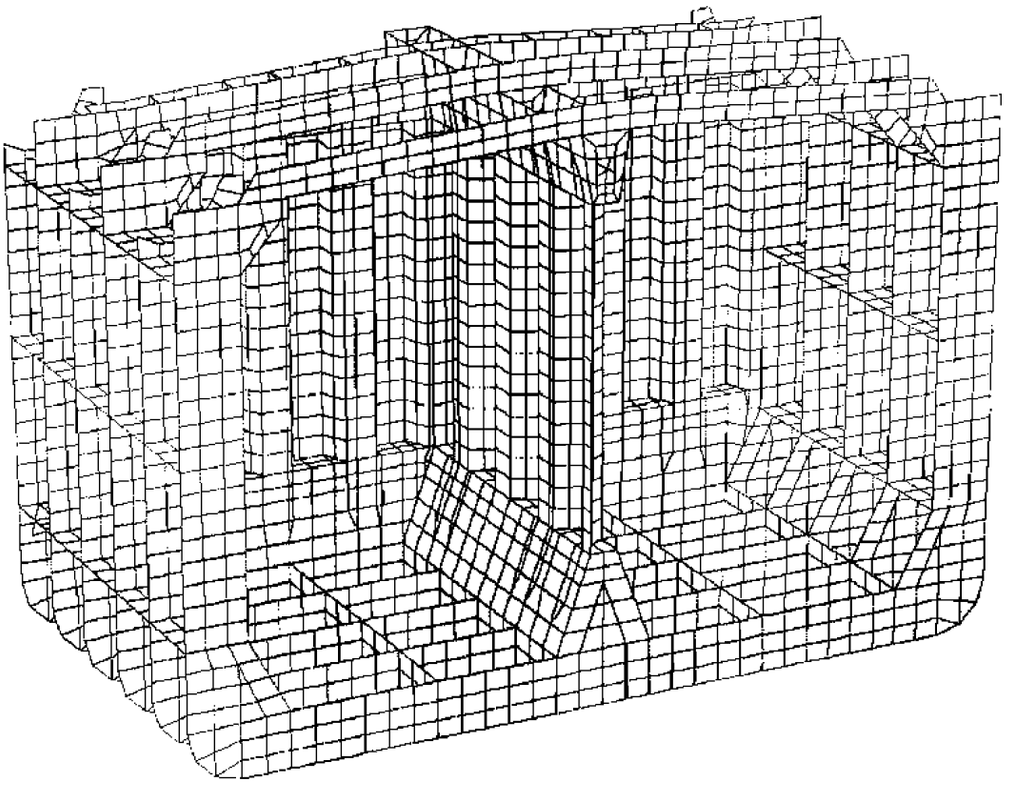


Танкер типа AFRAMAX



Крупнотоннажный танкер

Рис. В.2.7 (продолжение)
Схема типичной конечноэлементной сетки конструкции грузового танка



Танкер-продуктовоз

2.2.1.10 Оболочечные элементы в сочетании с балочными элементами должны использоваться для представления подкрепленных панелей в местах, подвергающихся воздействию бокового давления. Оболочечные элементы должны использоваться для представления неподкрепленных панелей в местах, подвергающихся воздействию бокового давления. Мембранные и прутковые элементы могут использоваться для представления негерметичных конструкций, на которые не воздействуют сжимающие нагрузки.

2.2.1.11 Все местные ребра жесткости должны моделироваться. Эти ребра жесткости могут моделироваться с использованием линейных элементов, расположенных в плоскости обшивки. Балочные элементы должны использоваться в местах, испытывающих воздействие боковых нагрузок, в то время как прутковые (ферменные) элементы могут использоваться для представления местных ребер жесткости на внутренних конструктивных элементах, не испытывающих воздействие боковых нагрузок. Линейные элементы должны иметь следующие свойства:

а) для балочных элементов, свойства при поперечном изгибе должны представлять инерцию комбинации обшивки с ребром жесткости. Ширина присоединенного пояска должна приниматься равной ½ + ½ шпации между ребрами жесткости с каждой стороны ребра жесткости. Эксцентриситет нейтральной оси не требуется;
б) для балочных и прутковых элементов, другие свойства сечений должны основываться на площади поперечного сечения, представляющего площадь ребра жесткости, исключая площадь присоединенного пояска.

2.2.1.12 Эффективная площадь поперечного сечения прерывистых ребер жесткости должна рассчитываться в соответствии с *табл. В.2.1*.

Таблица В.2.1

Эффективная площадь поперечного сечения линейных элементов ребра жесткости

Конструкция, представленная линейным элементом	**Эффективная площадь A_e**	
Ребро жесткости в пределах расстояния $2\,d_w$ от срезанного на ус (прерывистого) конца	Все сечения	$A_e = 25\,\% A_{h\text{-}net50}$
Ребро жесткости за пределами расстояния $2\,d_w$ от срезанного на ус (прерывистого) конца	Все сечения	$A_e = 100\,\% A_{n\text{-}net50}$
где $A_{n\text{-}net50}$ средняя площадь поперечного сечения по длине линейного элемента; d_w высота стенки ребра жесткости, исключая присоединенный поясок.		

2.2.1.13 Кницы для подкрепления стенки рамных балок на опорных конструктивных элементах должны моделироваться. Если эти кницы не расположены в одной плоскости с основной конечноэлементной сеткой, достаточно поместить линейный элемент вдоль ближайших узловых точек, при условии что откорректированное расстояние не превышает 0,2 рассматриваемого расстояния между ребрами жесткости. Полученные коэффициенты запаса напряжений и потери устойчивости не требуют поправки для корректирования. Теряющие устойчивость ребра жесткости, рамные бимсы и палубные стрингеры, параллельные полке, должны моделироваться. Эти ребра жесткости могут моделироваться с использованием прутковых элементов.

2.2.1.14 Свободные пояски главных несущих элементов и кницы могут моделироваться с использованием прутковых элементов. Эффективная площадь поперечного сечения в изогнутой части пояска должна рассчитываться в соответствии с *разделом 4/2.3.4*. Площадь поперечного сечения пруткового элемента, представляющего сужающуюся часть пояска, должна основываться на средней площади поперечного сечения пояска в районе отрезков элемента.

2.2.1.15 Вырезы в стенках основных опорных конструктивных элементов должны представляться в соответствии с *табл. В.2.2*. В районе малых вырезов, которые не учитываются при моделировании, напряжения, определенные с помощью анализа методом конечных элементов, должны быть откорректированы в соответствии с *2.7.2.4* и *2.7.2.5* перед оценкой по критериям приемки.

Таблица В.2.2

Представление вырезов в стенках балок

$h_0/h < 0{,}35\ g_0 < 1{,}2$	Вырезы не требуют моделирования
$0{,}5 > h_0/h \geq 0{,}35\ g_0 < 1{,}2$	Лист может быть моделирован со средней толщиной $t_{1\text{-}net50}$
$h_0/h \geq 0{,}35\ 2 > g_0 \geq 1{,}2$	Лист может быть моделирован со средней толщиной $t_{2\text{-}net50}$
$0{,}5 > h_0/h \geq 0{,}35\ 2 > g_0 \geq 1{,}2$	Лист может быть моделирован с минимальной величиной $t_{1\text{-}net50}$ и $t_{2\text{-}net50}$
$h_0/h \geq 0{,}5\ g_0 \geq 2{,}0$	Геометрия выреза должна моделироваться

где $g_0 = 1 + \dfrac{l_0^2}{2{,}6\,(h - h_0)^2}$

$$t_{1\text{-}net50} = \frac{h - h_0}{h}\, t_{w\text{-}net50}$$

$$t_{2\text{-}net50} = \frac{h - h_0}{h r_0}\, t_{w\text{-}net50}$$

$t_{w\text{-}net50}$ рабочая толщина стенки;
l_0 длина выреза, параллельная стенке балки, см. *рис.В.2.8;*
h_0 высота выреза, параллельная высоте стенки, см. *рис. В.2.8;*
h высота стенки балки в районе выреза, см. *рис.В.2.8;*
r_0 радиус выреза;
t_{corr} надбавка на коррозию, как определено в *табл. 6.3.1.*

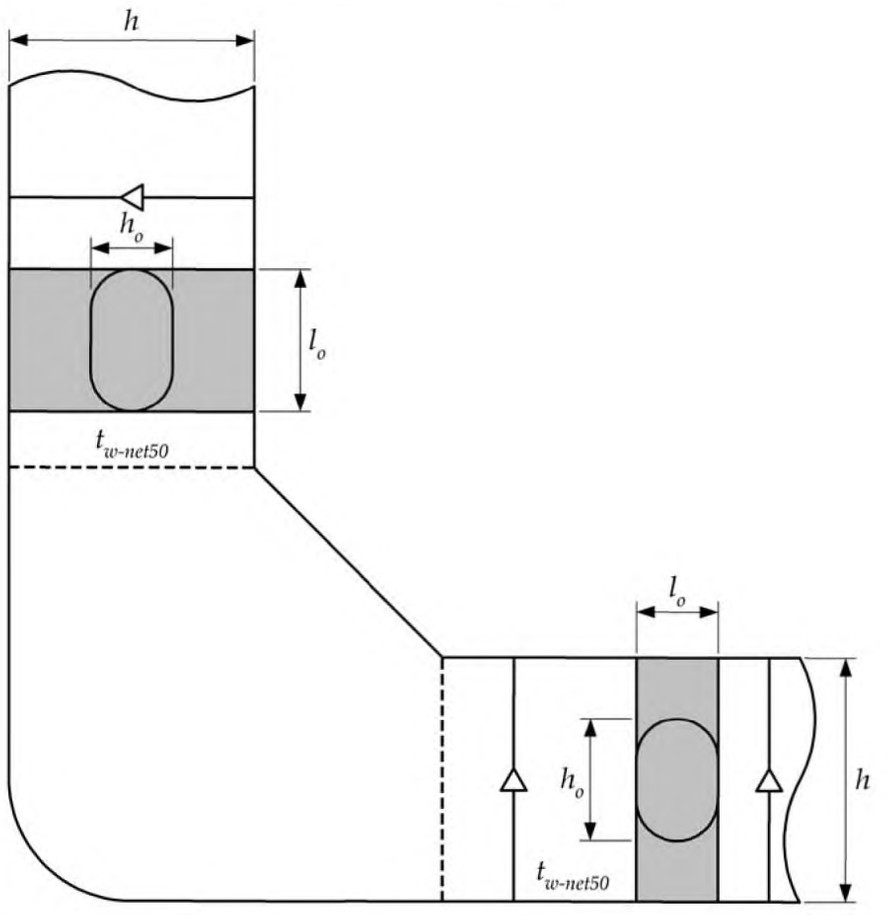
Продолжение табл. B.2.2

Примечания

1. Для последовательных вырезов, если расстояние, d_0, между вырезами меньше, чем 0,25 h, длина l_0 должна приниматься как длина поперек вырезов, как показано на *рис. B.2.9*.

2. То же самое относится к l_0, h_0 и h.

Рис. B.2.8
Вырезы в стенке балки



2.3 Режимы нагрузки

2.3.1 Случаи нагрузки конечных элементов

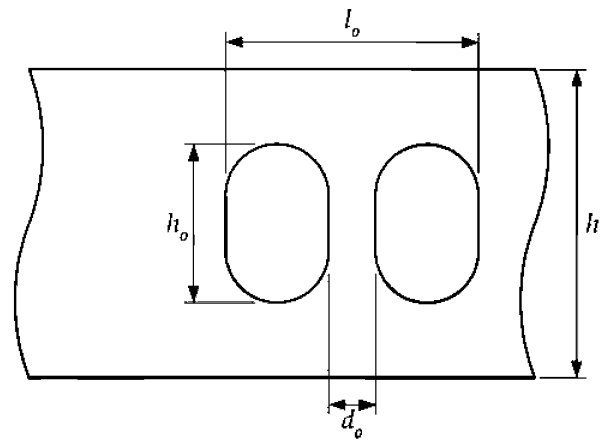
2.3.1.1 Стандартные модели нагрузок, которые должны использоваться в анализе конструкции, приведены в *табл. B.2.3* и *B.2.4* для танкеров с двумя нефтенепроницаемыми продольными переборками и одной диаметральной нефтенепроницаемой продольной переборкой, соответственно.

2.3.1.2 Могут иметься несколько случаев динамической нагрузки $S + D$, которые должны исследоваться для каждой модели нагрузки, как показано номерами случаев динамической нагрузки, установленными для каждой модели нагрузки в *табл. B.2.3* и *B.2.4*. Каждый случай нагрузки $S + D$ конечных элементов, который включает модель нагрузки и случай динамической нагрузки, состоит из двух частей:

а) статические нагрузки, как определено указанными моделью нагрузки, осадкой судна, изгибающим моментом эквивалентного бруса на тихой воде и срезывающим усилием, и

б) динамические нагрузки, определенные в *разделе 7/табл. 7.6.2* для указанного номера случая динамической нагрузки.

Рис. B.2.9
Длина l_0 для последовательных вырезов с $d_0 < h/4$



2.3.1.3 Для танкеров с двумя нефтенепроницаемыми продольными переборками и наличием конструкций с поперечными связями в средних грузовых танках должны быть рассмотрены модели нагрузки A7 и A12 в *табл. B.2.3*, поскольку возможность наличия неравных уровней заполнения в бортовых танках, составляющих пару в поперечном направлении, привело бы к более неблагоприятной реакции на напряжения. Модель нагрузки A7 требует анализа только в том случае, если такие несимметричные режимы нагрузки включены в судовое руководство по загрузке. Модели нагрузки A7 и A12 не требуют рассмотрения для танкеров без конструкции с поперечными связями в средних грузовых танках.

2.3.1.4 Для танкеров с двумя нефтенепроницаемыми продольными переборками модель нагрузки в море A3 и модель нагрузки в порту A13 со всеми грузовыми танками, расположенными в один ряд, являющимися порожними, должна быть анализирована при осадке судна 0,55 T_{sc} и 0,65 T_{sc}, соответственно. Если случаи нагрузки в судовом руководстве по загрузке указывают большие осадки для моделей нагрузки A3 или A13, то максимальная спецификационная осадка для модели нагрузки должна использоваться вместе с допустимым срезывающим усилием на тихой воде в море или в порту, установленным для этих моделей нагрузки. Однако допустимые срезывающие усилия на тихой воде в море и в порту , которые должны прилагаться, не должны быть меньше, чем те, которые используются в других моделях нагрузки.

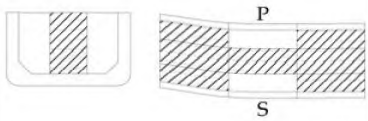
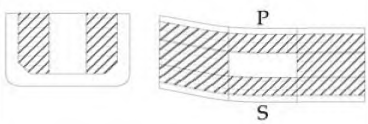
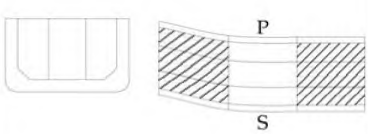
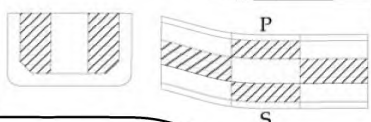
2.3.1.5 Для танкеров с двумя нефтенепроницаемыми продольными переборками, модель нагрузки в море A5 и модель нагрузки в порту A11, при всех грузовых танках, расположенных в один ряд, являющимися полностью заполненными, должны анализироваться соответственно при осадке судна 0,8 T_{sc} и 0,7 T_{sc}. Если случаи нагрузки в судовом руководстве по загрузке указывают меньшие осадки для моделей нагрузки A5 или A11, то минимальная спецификационная осадка для модели нагрузки должна использоваться вместе с допустимым срезывающим усилием на тихой воде в море и в порту, установленном для этих моделей нагрузки. Однако допустимые срезывающие усилия на тихой воде в море и в порту, которые должны применяться, не должны быть меньше, чем те, которые используются в других моделях нагрузки.

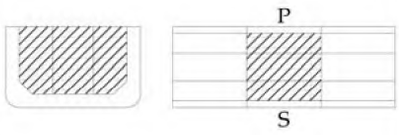
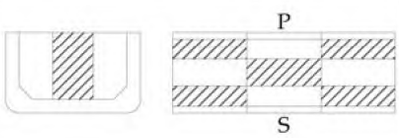
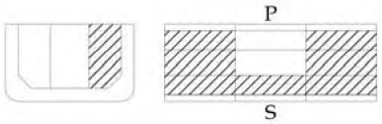
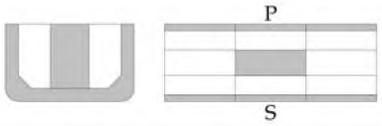
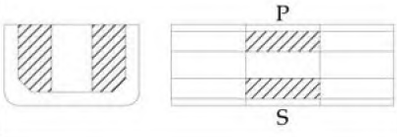
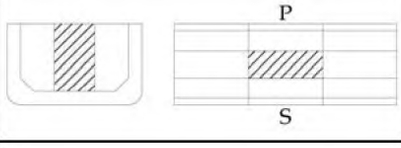
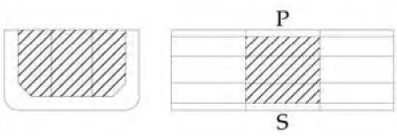
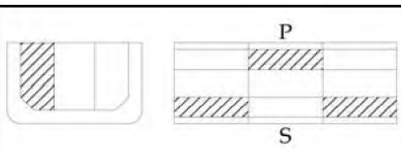
2.3.1.6 Для моделей нагрузки A1, B1, B2 и B3 при порожних бортовых грузовых танках, в анализе должна использоваться осадка судна 0,9 T_{sc}. Если случаи нагрузки в судовом руководстве по загрузке указывают большие осадки для моделей нагрузки с порожними бортовыми грузовыми танками, то должна использоваться максимальная спецификационная осадка для фактического случая нагрузки

2.3.1.7 Если в судовом руководстве по загрузке указывается состояние судна в балласте с водяным балластом, залитым в один или более грузовых танков, должны рассматриваться модели нагрузки A8 и B7 в *табл. B.2.3* и *B.2.4*.

Таблица B.2.3

Случаи нагрузки на конечные элементы для танкеров с двумя нефтенепроницаемыми продольными переборками

Модель нагрузки	Рисунок	Нагрузки на тихой воде			Случаи динамической нагрузки		
		Осадка	Допустимый изг.момент на тихой воде[2], %	Допустимые срез. усилия на тихой воде[2], %	Оценка прочности [1a]	Оценка прочности по срезывающим нагрузкам эквив. бруса [1b]	
					Средняя зона	Носовая зона	Средняя и кормовая зона
Комбинация расчетных нагрузок S+D (случаи нагрузок в море)							
A1		$0,9T_{sc}$	100% (прогиб)	См. примеч. 3	1	\	\
			100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. примеч. 4	2,5a	\	\
A2		$0,9T_{sc}$	100% (прогиб)	См. прим.3	1	\	\
			100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим. 4	2,5a	\	\
A3[6]		$0,55T_{sc}$ см. прим.5	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим. 5	2	4	2
				100% (отриц. в нос) См. прим. 5	5a	\	\
A4		$0,6T_{sc}$	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим. 4	1,5a	\	\

A5[7]		$0,8T_{sc}$ См. прим. 6	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) см. прим. 5	1	3	1
				100% (полож. в нос) См. прим.4	5a	\	\
A6		$0,6T_{sc}$	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим. 3	5a	\	\
A7[8]		T_{LC}	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим. 4	5a	\	\
A8[9]		T_{bal-em}	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим. 4	1	\	\
Комбинация расчетных нагрузок S (случаи нагрузки в порту и при испытании танков)							
A9[13]		¼ Tsc	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим. 4	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))		
A10[13]		¼ T_{sc}	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим. 4	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))		
A11[12, 13]		0,7 T_{sc} см. прим.12	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим. 5	Применимо к оценке прочности средней зоны (см.1(а) и оценке прочности по срезывающим нагрузкам эквивалентного бруса (см. 1(б))		
A12[10, 13]		1/3 Tsc	См. прим.10	См. прим. 10	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))		
A13[11, 13]		$0,65T_{sc}$ см. прим.11	100% (перегиб)	100% (Отриц. в нос) См. прим. 5	Применимо к оценке прочности средней зоны (см.1(а)) и оценке прочности по срезывающим нагрузкам эквивалентного бруса (см. 1(б))		
A14[13]		T_{sc}	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим. 4	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))		

Продолжение табл. В.2.3

Примечание

1.

а) Для оценки размеров продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, главных несущих элементов и поперечных переборок в пределах средней грузовой зоны судна, см. *1.1.1.5;*

б) Для оценки прочности продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в районе продольных переборок для вертикальных перерезывающих нагрузок эквивалентного бруса см. *1.1.1.6, 1.1.1.7* и *1.1.1.8.*

2. Выбор изгибающего момента на тихой воде и срезывающих усилий на тихой воде для оценки различных грузовых зон судна должен соответствовать *табл. В.2.6.* Величина допускаемых изгибающего момента на тихой воде и срезывающих усилий на тихой воде, которые должны прилагаться, должны соответствовать данной таблице.

3. Должно использоваться фактическое срезывающее усилие, которое является результатом приложения местных нагрузок к конечноэлементной модели.

4. Должно использоваться фактическое срезывающее усилие, которое является результатом приложения местных нагрузок к конечноэлементной модели. Если это срезывающее усилие превышает намеченное срезывающее усилие на тихой воде (расчетная комбинация S) или комбинированное срезывающее усилие на тихой воде и срезывающее усилие на волнении, рассчитанные в соответствии с *2.4.5.2* (расчетная комбинация S+D), как указано в таблице, должны прилагаться корректирующие вертикальные нагрузки для приведения срезывающего усилия к требуемому значению.

5. Корректирующие вертикальные нагрузки должны прикладываться, чтобы привести срезывающее усилие к указанной требуемой величине.

6. Для модели нагрузки А3, со всеми грузовыми танками в одном ряду, являющимися порожними, в условиях нахождения судна в море, при анализе должна использоваться осадка $0{,}55\,T_{sc}$. Если такой случай указан в судовом руководстве по загрузке при осадке, большей чем $0{,}55\,T_{sc}$, максимальная спецификационная осадка для таких случаев нагрузки должна использоваться при анализе конечноэлементной модели.

7. Для модели нагрузки А5, со всеми грузовыми танками в одном ряду полностью заполненными в условиях, когда судно находится в море, в анализе должна использоваться осадка $0{,}8\,T_{sc}$. Если такие случаи указаны в судовом руководстве по загрузке при осадке меньшей, чем $0{,}8\,T_{sc}$, минимальная спецификационная осадка для таких случаев нагрузки должна использоваться при анализе конечноэлементной модели.

8. Модель нагрузки А7 должна анализироваться только тогда, если судовое руководство по загрузке указывает несимметричный случай нагрузки при только одном бортовом танке заполненном, для танкеров с наличием замкнутой системы набора в средних грузовых танках. Фактическая осадка по руководству по загрузке для данного случая, должна использоваться при анализе, см. *табл. В.2.5.*

9. Модель нагрузки А8 для судна в балласте, с балластом, залитым в один или более танков (т.е. судно в балласте в штормовых/аварийных условиях и т.п.) должна анализироваться только тогда, если случай указан в судовом руководстве по загрузке. Фактическая модель нагрузки и осадка из руководства по загрузке для случая, который должен использоваться в анализе, см. *табл. В.2.5.*

10. Модели нагрузки А12 требуются только для танкеров с наличием конструкции с замкнутой системой набора в средних грузовых танках. Должны использоваться фактическое срезывающее усилие и изгибающий момент, вызванные приложением местных нагрузок к конечноэлементной модели. Корректирующие вертикальные нагрузки и изгибающие моменты не прикладываются.

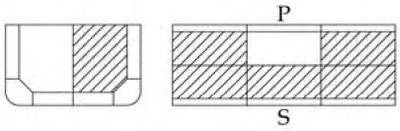
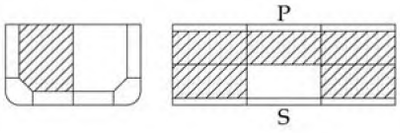
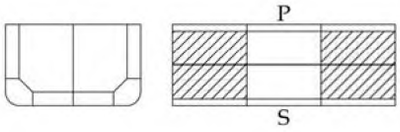
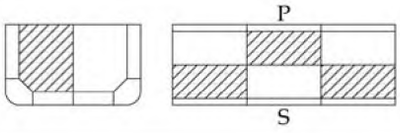
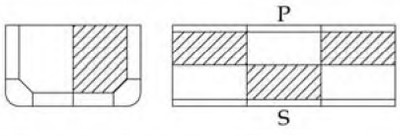
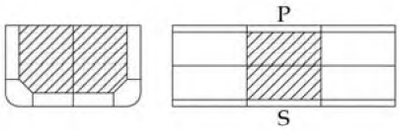
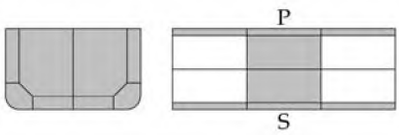
11. Для модели нагрузки А13 со всеми грузовыми танками в одном ряду порожними в порту, при анализе должна использоваться осадка $0{,}65\,T_{sc}$. Если такие случаи указаны в судовом руководстве по загрузке с осадкой, большей, чем $0{,}65\,T_{sc}$, максимальная спецификационная осадка для этих случаев нагрузки должна использоваться при анализе конечноэлементной модели.

12. Для модели нагрузки А11, со всеми грузовыми танками в одном ряду полностью заполненными в порту, при анализе должна использоваться осадка $0{,}7\,T_{sc}$. Если такие случаи указаны в судовом руководстве по загрузке судна при осадке, меньшей, чем $0{,}7\,T_{sc}$, минимальная спецификационная осадка для этих случаев нагрузки должна использоваться при анализе конечноэлементной модели.

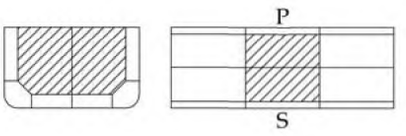
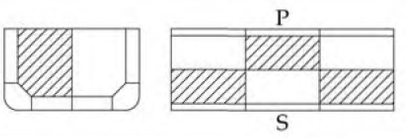
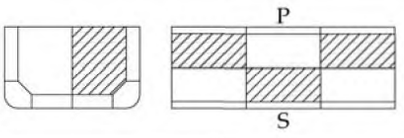
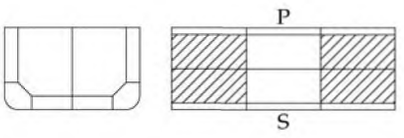
13. Динамические нагрузки не должны относиться к Комбинации расчетных нагрузок S (случаи нагрузок в порту и при испытании танков).

Таблица В.2.4

Случаи нагрузки для танкеров с одной диаметральной нефтенепроницаемой продольной переборкой

Модель нагрузки	Рисунок	Нагрузки на тихой воде			Случаи динамических нагрузок		
		Осадка	Допустимый изгиб. момент на тихой воде, %	Допустимые срез. усилия на тихой воде, %	Оценка прочности (1а)	Оценка прочности по срезывающим нагрузкам эквивалентного бруса (1б)	
					Средняя зона	Носовая зона	Средняя и кормовая зоны
Комбинация расчетных нагрузок S + D (Случаи нагрузки в море)							
B1		$0{,}9\,T_{sc}$	100% (прогиб)	См. прим. 3	1	\	\
			100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим.4	2,5а	\	\
B2(6)		$0{,}9\,T_{sc}$	100% (прогиб)	См. прим. 3	1	\	\
			100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим.4	2,5б	\	\
B3		$0{,}9\,T_{sc}$	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим.5	2	4	2
				100% (отриц. в нос) См. прим.4	5а, 5б, 6а, 6б	\	\
B4		$0{,}6\,T_{sc}$	100% (прогиб)	75% (полож. в нос) См. прим.4	1,5а	\	\
B5(6)		$0{,}6\,T_{sc}$	100% (прогиб)	75% (полож. в нос) См. прим.4	1,5б	\	\
B6		$0{,}6\,T_{sc}$	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим.5	1	3	1
				100% (полож. в нос) См. прим.4	5а, 5б	\	\
B7(7)		$T_{bal\text{-}em}$	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим.4	1	\	\

Продолжение табл. В.2.4

Комбинация расчетных нагрузок S (случаи нагрузок в порту и при испытании танков)					
B8[8]		1/3 T_{sc}	100% (прогиб)	100% (полож. в нос) См. прим.5	Применимо к оценке прочности средней зоны (см.1(а)) и оценке прочности по срезывающим усилиям эквивалентного бруса (см. 1(б))
B9[8]		1/3 T_{sc}	100% (прогиб)	75% (полож. в нос) См. прим.4	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))
B10[6,8]		1/3 T_{sc}	100% (прогиб)	75% (полож. в нос) См. прим.4	Применимо только к оценке прочности средней зоны (см. примечание 1(а))
B11[8]		T_{sc}	100% (перегиб)	100% (отриц. в нос) См. прим.5	Применимо к оценке прочности средней зоны (см. 1(а)) и оценке прочности по срезывающим усилиям эквивалентного бруса (см. 1(б))

Примечание

1.

а) Для оценки размеров продольных конструктивных элементов эквивалентного главных несущих элементов и поперечных переборок в пределах средней грузовой зоны судна, см. *1.1.1.5.*

б) Для оценки прочности продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в районе продольных переборок для вертикальных перерезывающих нагрузок эквивалентного бруса см. *1.1.1.6, 1.1.1.7* и *1.1.1.8.*

2. Выбор изгибающего момента на тихой воде и срезывающих усилий на тихой воде для оценки различных грузовых зон судна должен соответствовать *табл. В.2.6.* Величина допускаемых изгибающего момента на тихой воде и срезывающих усилий на тихой воде, которые должны прилагаться , должны соответствовать данной таблице.

3. Должно использоваться фактическое срезывающее усилие, которое является результатом приложения местных нагрузок к конечноэлементной модели.

4. Должно использоваться фактическое срезывающее усилие, которое является результатом приложения местных нагрузок к конечноэлементной модели. Если это срезывающее усилие превышает намеченное срезывающее усилие на тихой воде (расчетная комбинация S) или комбинированное срезывающее усилие на тихой воде и срезывающее усилие на волнении, рассчитанные в соответствии с *2.4.5.2* (расчетная комбинация S+D), как указано в таблице, должны прилагаться корректирующие вертикальные нагрузки для приведения срезывающего усилия к требуемому значению.

5. Корректирующие вертикальные нагрузки должны прикладываться, чтобы привести срезывающее усилие к указанной требуемой величине.

6. Случаи нагрузки В2, В5 и В10 требуются только, если конструкция не симметрична относительно Д.П.судна.

7. Модель нагрузки В7 для судна в балласте, с балластом, залитым в один или более танков(т.е. судно в балласте в штормовых/аварийных условиях и т.п.) должна анализироваться только тогда, если случай указан в судовом руководстве по загрузке. Фактическая модель нагрузки и осадка из руководства по загрузке для случая, который должен использоваться в анализе, см. *табл. В.2.5.*

8. Динамические нагрузки не должны относиться к комбинации расчетных нагрузок S (случаи нагрузок в порту и при испытании танков).

2.3.2 Случаи динамических нагрузок

2.3.2.1 Случаи динамических нагрузок, используемые для анализа методом конечных элементов, приведены в *разделе 7/6.4.*

2.4 Приложение нагрузок

2.4.1 Общие положения

2.4.1.1 Приложение нагрузок к конечноэлементной модели должно соответствовать *разделу 7/6* и требованиям, приведенным в *В/2.4*.

2.4.1.2 Параметры и места приложения нагрузок, используемые для расчета приложенных нагрузок и ускорений, должны соответствовать *табл. В.2.5* и *В.2.6*.

2.4.1.3 Нагрузка, обусловленная постоянным давлением, оцененная в центре тяжести элемента, может быть приложена к конечному листовому элементу. В качестве альтернативы, может применяться линейное распределение давления между узловыми точками элемента.

Таблица В.2.5

Параметры для расчета нагрузок и ускорений

Параметр	Стандартные условия			Необязательные условия	
	Осадка T_{sc}	Осадка 0,9 T_{sc}	Осадка 0,6 T_{sc}	Судно в грузу: А3 (осадка > 0,6 T_{sc}) и А7	Судно в балласте в штормовых/аварийных условиях: А8 и В7
L	Длина согласно Правилам			Длина согласно Правилам	
C_b	коэф. общей полноты, как определено в *разделе 4/1.1.1.1*			коэф. общей полноты, как определено в *разделе 4/1.1.1.1*	
Скорость судна	0,0			0,0	
Характеристика бортовой качки					
GM	0,12В	0,12В	0,24В	Откорректированная GM в судовом руководстве по загрузке для рассматриваемой модели в грузу или с большим количеством балласта, см. прим. 1	
$R_{roll\text{-}gyr}$	0,35В	0,35В	0,4В	См. примечание 2	
Характеристика килевой качки, продольные и поперечные ускорения, изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, на волнении и давление забортной воды					
Осадка судна	T_{sc}	0,9 T_{sc}	0,6 T_{sc}	Макс. средняя осадка в руководстве по загрузке для рассматриваемой модели нагрузки	Миним. средняя осадка в руководстве по загрузке для рассматриваемой модели нагрузки

Примечания

1. Если GM для необязательного состояния судна в грузу или в балласте в штормовых/аварийных условиях не приведена в судовом руководстве по загрузке, GM должна определяться в соответствии с *разделом 7/3.1.3.2*.

2. Если $r_{roll\text{-}gyr}$ для необязательного состояния судна в грузу или в балласте в штормовых/аварийных условиях не приведена в судовом руководстве по загрузке, $r_{roll\text{-}gyr}$ должен определяться в соответствии с *разделом 7/3.1.3.3*.

3. Состояние судна в балласте в штормовых/аварийных условиях определяется как состояние в балласте с одним или более грузовых танков, заполненных балластом.

Таблица В.2.6

Места для определения нагрузок и ускорений

	Оценка прочности (1а)	**Оценка прочности по срезывающим нагрузкам эквивалентного бруса** (1в)-		
	Средняя грузовая зона	**Носовая грузовая зона**	**Средняя грузовая зона**	**Все грузовые зоны**
Комбинации расчетных нагрузок S+D (случаи нагрузок в море)				
Динамическое волновое давление и нагрузка при заливании палубы	Поперечное сечение на расстоянии 0,5*L* от К.П.	Поперечное сечение на расстоянии 0,75*L* от К.П.	Поперечное сечение на расстоянии 0,5*L* от К.П.	Поперечное сечение на расстоянии 0,25*L* от К.П.
Ускорение a_v, a_tr, a_{lng}	В положении Ц.Т. средних танков (т.е. точка 0,5*L* от К.П. находится в пределах танка)	В положении Ц.Т. носовых танков (т.е. точка 0,75*L* от К.П. находится в пределах танка)	В положении Ц.Т. средних танков (т.е. точка 0,5*L* от К.П. находится в пределах танка)	В положении Ц.Т. всех танков (т.е точка 0,25*L* от К.П. находится в пределах танка)
Изгибающий момент на волнении и изгибающий момент на тихой воде (изгибающий момент на тихой воде должен основываться на допустимых значениях при нахождении в море, как определено в *разделе 7/2.1.1* и *2.1.2*)	На расстоянии 0,5*L* от К.П.	На расстоянии 0,75*L* от К.П.	На расстоянии 0,5*L* от К.П.	На расстоянии 0,25*L* от К.П.
Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости	На расстоянии 0,5*L* от К.П.	\	\	\
Срезывающие усилия на волнении и срезывающие усилия на тихой воде (срезывающие усилия на тихой воде должны основываться на допустимых значениях при нахождении в море, как определено в *разделе 7/2.1.3* и *2.1.4*)	На поперечной переборке при максимальных допустимых комбинированных значениях срезывающих усилий на тихой воде и срезывающих усилий на волнении при нахождении в море в зоне, см. *1.1.1.5*	На поперечной переборке при максимальных допустимых комбинированных значениях срезывающих усилий на тихой воде и срезывающих усилий на волнении при нахождении в море в зоне (см. *1.1.1.6*) или в месте установки отдельной переборки (см. *1.1.1.8*)	На основании оценки прочности среднего танка (см. *1.1.1.7*) или допустимых значениях срезывающих усилий на тихой воде и срезывающих усилий на волнении при нахождении в море в месте установки отдельной поперечной переборки (см. *1.1.1.8*)	
Комбинация расчетных нагрузок S (Случаи нагрузок в порту и при испытании танков)				
Изгибающий момент на тихой воде (изгибающий момент на тихой воде должен основываться на допустимых значениях при нахождении в порту, как определено в *разделе 7/2.1.1*.и *2.1.2*)	На расстоянии 0,5*L* от К.П.	На расстоянии 0,75*L* от К.П.	На расстоянии 0,5*L* от К.П.	На расстоянии 0,25*L* от К.П.

Срезывающие усилия на тихой воде (срезывающие усилия на тихой воде должны основываться на на допустимых значениях при нахождении в порту, как определено в *разделе 7/2.1.3* и *2.1.4*)	Максимальные допустимые срезывающие усилия на тихой воде в зоне при нахождении в порту, см. *1.1.1.5*	Максимальные допустимые срезывающие усилия на тихой воде в зоне при нахождении в порту, (см. *1.1.1.6*) или в месте установки отдельной переборки (см.*1.1.1.8*)	На основании оценки прочности среднего грузового танка (см.*1.1.1.7*) или допустимых срезывающих усилий на тихой воде при нахождении в порту в месте установки отдельной поперечной переборки (см. *1.1.1.8)*
Примечания 1. Должны быть выполнены следующие оценки: (а) для оценки размеров продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, главных несущих элементов и поперечных переборок в танках в пределах средней грузовой зоны, см. *1.1.15;* (б) для оценки подкрепления продольных элементов эквивалентного бруса, работающих на сдвиг, в районе отдельных поперечных переборок при срезывающих нагрузках эквивалентного бруса , см. *1.1.1.6, 1.1.1.7* и *1.1.1.8.* 2. Для каждого случая нагрузки на конечные элементы в положении центра тяжести балласта и/или груза должны рассчитываться ускорения в соответствии с данной таблицей. Ускорение, рассчитанное для каждого базового танка, должно прилагаться к 3 соответствующим грузовым или балластным танкам по длине конечноэлементной модели. 3. Расстояния в продольном направлении, используемые в расчете нагрузок, относятся к расстоянию, измеренному в нос от кормового перпендикуляра, как определено в *разделе 4/1.1.12.* 4. Динамическое волновое давление, рассчитанное в установленном сечении, должно прилагаться ко всей длине конечноэлементной модели. 5. Коэффициенты комбинации динамических нагрузок применяются к динамическим нагрузкам для комбинации расчетных нагрузок *S* + *D* (случаи нагрузок при нахождении в море), как определено в *разделе 7/6.4.* 6. Прилагаемые изгибающий момент на тихой воде и перерезывающие силы на тихой воде должны соответствовать *табл. В.2.3* и *В.2.4.*			

2.4.2 Вес конструкции, плотность груза и балласта

2.4.2.1 Плотность груза должна приниматься равной 1,025 т/м^3, см. *2.4.7.2.*

2.4.2.2 Плотность забортной воды должна приниматься равной 1,025 т/м^3.

2.4.2.3 Вес конструкции должен быть включен в анализ методом конечноэлементной модели. Плотность стали должна приниматься равной 7,85 т/м^3.

2.4.3 Статическое давление забортной воды

2.4.3.1 Статическое давление забортной воды, приложенное к листовому элементу вследствие погружения, соответствующего осадке, должно рассчитываться в соответствии с *разделом 7/2.2.2.*

2.4.3.2 Осадка в тихой воде, которая должна учитываться для каждого случая нагрузки на конечный элемент, должна соответствовать *табл. В.2.3* и *В.2.4.* Постоянная осадка должна применяться по всей длине конечноэлементной модели грузового танка.

2.4.3.3 Статическое давление забортной воды вследствие погружения, соответствующего осадке, для судна на ровном киле должно прикладываться ко всем случаям нагрузки на конечные элементы. Изменение статического давления забортной воды вследствие бортовой качки судна включается в составляющую динамического волнового давления.

2.4.4 Динамическое волновое давление

2.4.4.1 Распределение динамического волнового давления должно определяться в поперечном сечении корпуса судна по длине, как определено в *табл. В.2.6.* Распределение динамического волнового давления должно рассчитываться в соответствии с *разделом 7/6.3.5.* Это распределение давления должно прикладываться ко всей длине конечноэлементной модели.

2.4.4.2 Распределение давления вследствие нагрузки от заливания водой открытой палубы должно рассчитываться в соответствии с *разделом 7/6.3.6* по длине, как определено в *табл. В.2.6*. Это распределение давления должно прикладываться к открытой палубе по всей длине конечноэлементной модели.

2.4.5 Изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, и срезывающая сила, действующая в вертикальной плоскости, эквивалентного бруса

2.4.5.1 Изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, эквивалентного бруса должен достигать следующего требуемого значения $M_{v\text{-}targ}$ в сечении в пределах длины среднего танка конечноэлементной модели из трех танков:

$$M_{v\text{-}targ} = M_{sw} + M_{wv},$$

где M_{sw} изгибающий момент на тихой воде, прикладываемый к случаю нагрузки на конечные элементы, как указано в *табл. В.2.3* и *В.2.4;*

M_{wv} изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, для рассматриваемого случая динамической нагрузки, рассчитанный в соответствии с *разделом 7/6.3.2*.

2.4.5.2 Срезывающее усилие эквивалентного бруса, действующее в вертикальной плоскости, должно достигать следующего требуемого значения Q_{targ} в месте установки носовой поперечной переборки среднего танка:

$$Q_{targ} = Q_{sw} + Q_{wv},$$

где Q_{sw} срезывающее усилие, действующее в вертикальной плоскости, на тихой воде, прикладываемое к рассматриваемому случаю нагрузки на конечные элементы как указано в *табл. В.2.3* и *В.2.4;*

Q_{wv} срезывающее усилие, действующее в вертикальной плоскости, для рассматриваемого случая динамической нагрузки, рассчитанное в соответствии с *разделом 7/6.3.4*.

2.4.5.3 Требуемые изгибающий момент и срезывающее усилие эквивалентого бруса, действующие в вертикальной плоскости, должны достигаться в одном и том же случае нагрузки, если они требуются *табл. В.2.3* и *В.2.4*. Методика применения требуемых распределений срезывающего усилия и изгибающего момента описана в *2.5*.

2.4.6 Волновой изгибающий момент эквивалентного бруса, действующий в горизонтальной плоскости

2.4.6.1 Волновой изгибающий момент эквивалентного бруса, действующий в горизонтальной плоскости, в сечении в пределах длины среднего танка конечноэлементной модели из трех танков должен достигать величины, требуемой рассматриваемым случаем динамических нагрузок, рассчитанной в соответствии с *разделом 7/6.3.3*.

2.4.6.2 Методика регулировки требуемого изгибающего момента эквивалентного бруса, действующего в горизонтальной плоскости, описана в *2.5*.

2.4.7 Давление в грузовых и балластных танках

2.4.7.1 Полное давление в танке, P_{in}, прикладываемое к ограждающей конструкции грузового или балластного танка при анализе методом конечных элементов, должно включать статическую и динамическую составляющие, указанные в *разделе 7/табл. 7.6.1* и *табл. В.2.6*.

2.4.7.2 Для случаев нагрузки в море (расчетная комбинация $S + D$) давление в грузовых танках должно рассчитываться следующим образом

$$P_{in} = f_{density}(P_{in\text{-}tk} + P_{in\text{-}dyn}) \quad \text{кН/м}^2,$$

где $f_{density}$ коэффициент совместной вероятности наступления события – плотность груза и максимального волнения моря за 25 лет расчетного срока службы;

$= \rho_{max\text{-}LM} / \rho_{allowable}$;

$\rho_{max\text{-}LM}$ максимальная плотность груза при полном танке при любых условиях загрузки в инструкции по загрузке судна. $\rho_{max\text{-}LM}$ не должен приниматься менее 0,9 т/м^3 для условий загрузки и 1,025 т/м^3 для возможных аварийных условий балластировки (т.е А8 и В7 в *табл. В.2.3 и В.2.4* соответственно);

$\rho_{allowable}$ расчетная плотность груза при полном танке принимается 1,025 т/м^3, если более высокая плотность не указана верфью, см. *раздел 2/3.1.8.1;*

$\rho_{in\text{-}tk}$ статическое давление в танке как указано в *разделе 7/2.2.3.1* (кН/м^2) и плотностью жидкости в танке, равной расчетной плотности груза $\rho_{allowable}$;

$\rho_{in\text{-}dyn}$ одновременно действующее динамическое давление, указанное в *разделе 7/6.3.7.*1 (кН/м^2) с упрощением, указанным в *2.4.7.3* и плотностью жидкости в танке, равной расчетной плотности груза $\rho_{allowable}$.

2.4.7.3 Диапазон вертикальных ускорений, a_v, в центре тяжести танков рассчитывается в соответствии с *разделом 7/3.3.3* со следующими упрощениями:

а) для встречного волнения $a_{roll\text{-}z}$ принимается равным 0;
б) для волнения с траверза $a_{pitch\text{-}z}$ принимается равным 0.

2.4.7.4 Вертикальные, поперечные и продольные ускорения должны рассчитываться в центре тяжести танков, расположенных в ряд, по длине, как указано в *табл. В.2.6.* Эти ускорения должны прикладываться ко всем соответствующим танкам по длине конечноэлементной модели из трех танков.

2.4.7.5 Динамическое давление в танке должно рассчитываться в соответствии с *разделом 7/6.3.7*, также см. *табл. В.2.6.*

2.4.7.5 Для балластных танков, которые используют обмен водяного балласта методом перетекания, при расчете давления в танках для случая нагрузки при нахождении в море (расчетная комбинация $S + D$) необходимо учесть следующее:

- Максимальная высота воздушной трубы или переливной трубы, т.е. h_{air}, как определено в *разделе 7/2.2.3.2* и на *рис.7.2.3*, всех балластных танков в грузовой зоне должна использоваться в расчете динамического давления в танке, обусловленного вертикальным ускорением (см. также *раздел 7/6.3.7.1*).
- Максимальное значение h_{air} и P_{drop}, как определено в *разделе 7/2.2.3.3*, всех балластных танков в грузовой зоне должно использоваться для расчета статического давления в танке.

2.4.7.7 При расчете статического давления в грузовых танках для случая нагрузки при нахождении в порту/при испытании танков (расчетная комбинация S) должно учитываться следующее:

- Максимальная установка предохранительного клапана, P_{valve}, как определено в *разделе 7/2.2.3.5*, всех грузовых танков, если это применимо, максимальная h_{air}, как определено в *разделе 7/2.2.3.2* и на *рис. 7.2.3*, всех грузовых танков и грузовой зоне должны учитываться при расчете $P_{in\text{-}test}$.

2.4.7.8 Если длина модели выступает за пределы конечных поперечных переборок, см. *2.2.1.1*, давление в танке должно прикладываться только к полным танкам в пределах длины модели.

2.5 Методика корректирования перерезывающих сил и изгибающих моментов эквивалентного бруса

2.5.1 Общие положения

2.5.1.1 Методика, описанная в данном разделе, должна применяться для корректирования распределения изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, перерезывающей силы, действующей в вертикальной плоскости, и изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, эквивалентного бруса на конечноэлементной модели из трех танков с целью достижения требуемых значений.

2.5.1.2 Вертикальные распределенные нагрузки прилагаются к каждому шпангоуту вместе с изгибающим моментом, действующим в вертикальной плоскости, прилагаемым к концам модели для получения требуемого значения срезывающего усилия, действующего в вертикальной плоскости, на носовой переборке среднего танка конечноэлементной модели и требуемой величины изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, в сечении в пределах длины среднего танка конечноэлементной модели. Требуемые значения указаны в *2.4.5*.

2.5.1.3 Изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, прилагается к концам модели для получения требуемой заданной величины изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, в сечении в пределах длины среднего танка конечноэлементной модели. Требуемые значения указаны в *2.4.6*.

2.5.2 Перерезывающая сила и изгибающий момент, обусловленные местными нагрузками

2.5.2.1 Перерезывающая сила, действующая в горизонтальной плоскости, обусловленная местными нагрузками, рассчитывается в местах установки поперечных переборок среднего танка конечноэлементной модели. Изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, обусловленный местными нагрузками, рассчитывается по длине среднего танка конечноэлементной модели из трех танков. Конечноэлементная модель может использоваться для расчета перерезывающих сил и изгибающих моментов. В качестве альтернативы, простая балочная модель, представляющая длину конечноэлементной модели из трех танков с незакрепленными концами может использоваться для определения значений срезывающих усилий и изгибающих моментов.

2.5.2.2 Для волнения с траверза и под углом к Д.П. распределение изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, обусловленное динамическим давлением забортной воды и динамическим давлением в танке, должно рассчитываться по длине среднего танка конечноэлементной модели.

2.5.2.3 Следующие местные нагрузки должны прилагаться для расчета перерезывающих сил и изгибающих моментов эквивалентного бруса:

а) распределение веса конструкций судна по длине модели из трех танков (статические нагрузки). Если используется простая балочная модель, вес конструкции каждого танка может равномерно распределяться по длине грузового танка. Вес конструкции должен рассчитываться с учетом уменьшения толщины $0,5\,t_{corr}$, как использовано в конструкции конечноэлементной модели грузового танка, см.*2.2.1.5*;
б) вес груза и балласта (статические нагрузки);
в) статическое давление забортной воды, динамическое волновое давление и нагрузка от заливания водой. Для комбинации расчетных нагрузок S (случаи нагрузки при пребывании в порту и при испытании танков) должно прилагаться только статическое давление забортной воды;
г) нагрузка, обусловленная динамическим давлением в танке для комбинации расчетных нагрузок S (случаи нагрузок при нахождении в море).

2.5.3 Методика корректировки распределения срезывающих усилий, действующих в вертикальной плоскости

2.5.3.1 Требуемая корректировка срезывающих усилий в местах установки поперечных переборок (ΔQ_{aft} и ΔQ_{fwd}, как показано на *рис. В.2.10*) должна осуществляться путем приложения вертикальной нагрузки в местах установки шпангоутов, как показано на *рис. В.2.11*.Следует отметить, что вертикальные корректирующие нагрузки не должны прилагаться к любым поперечным непроницаемым переборкам, любым шпангоутам, расположенным в нос от носового танка, и любым шпангоутам, расположенным в корму от кормового танка конечноэлементной модели. Сумма всех приложенных вертикальных корректирующих нагрузок равна нулю.

Рис. В.2.10
Местонахождение заданного срезывающего усилия и требуемая корректировка срезывающего усилия на поперечных переборках

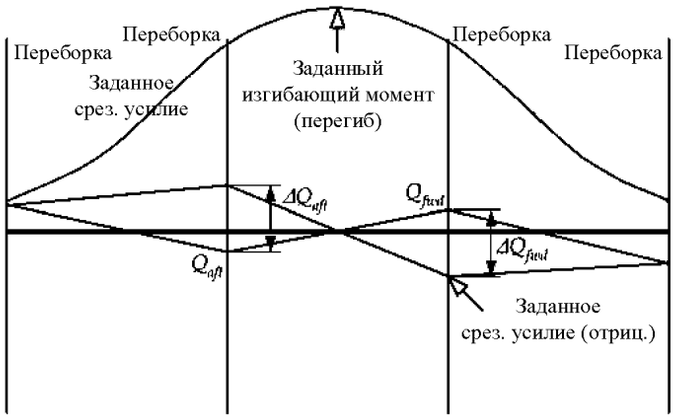
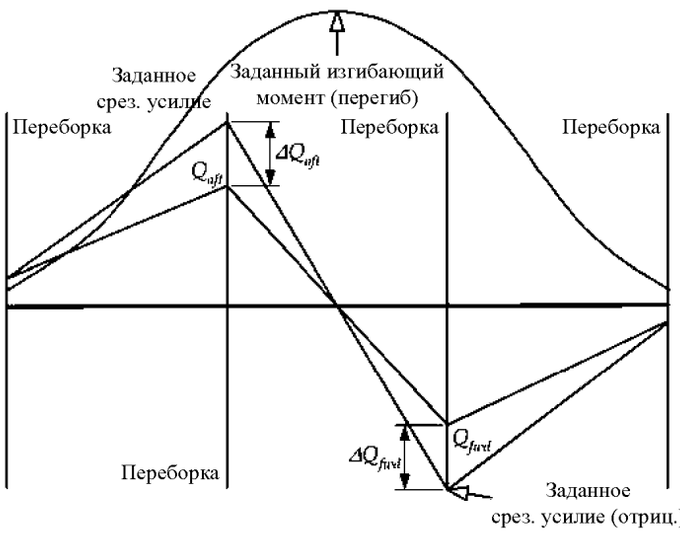
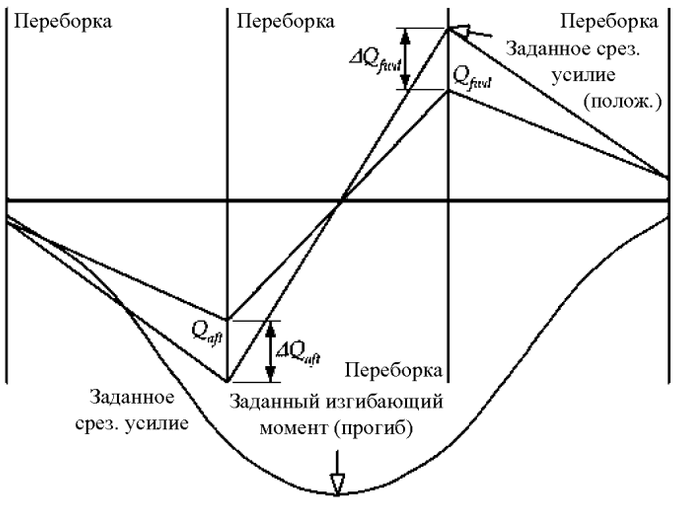
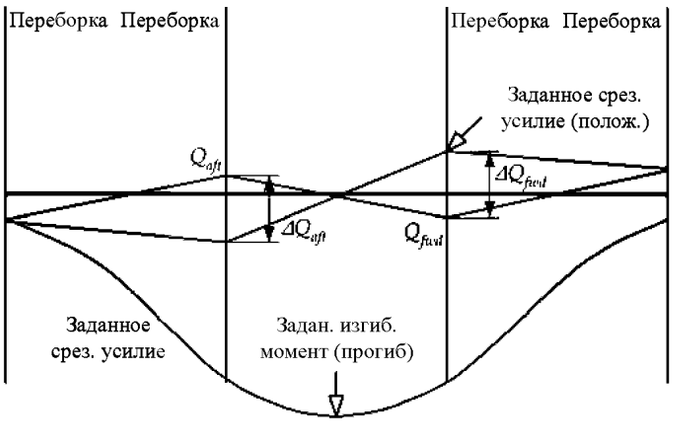
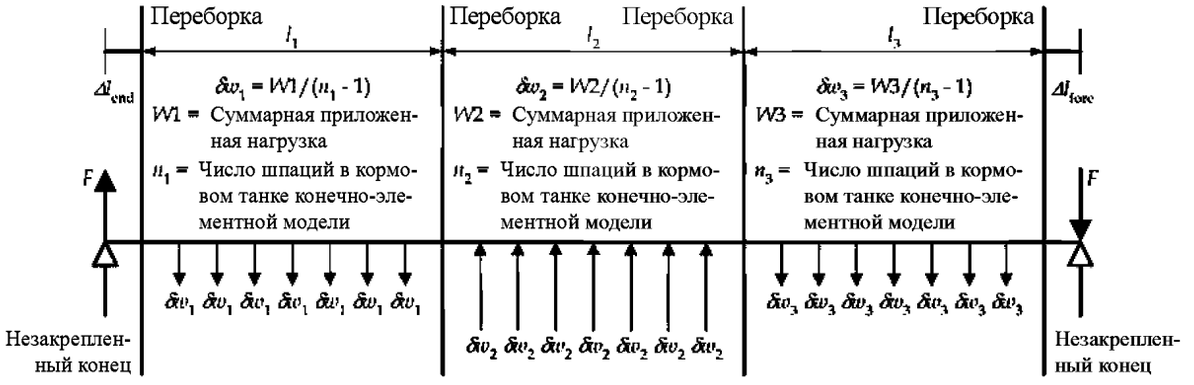
Состояние	Заданные			Кормовая переборка		Носовая переборка	
	Изгиб. момент	Срезыв. усилие	Место установки переб-ки	Срезыв. усилие	ΔQ_{aft}	Срезыв. усилие	ΔQ_{fwd}
	Перегиб	Отрицат.	Носовая	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ} - Q_{aft}$	$Q_{targ\,(-ve)}$	$Q_{targ} - Q_{fwd}$
	Перегиб	Отрицат	Носовая	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ} - Q_{aft}$	$Q_{targ\,(-ve)}$	$Q_{targ} - Q_{fwd}$
	Прогиб	Полож.	Носовая	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ} - Q_{aft}$	$Q_{targ\,(+ve)}$	$Q_{targ} - Q_{fwd}$

Рис. В.2.10 (продолжение)
Местонахождение заданного срезывающего усилия и требуемая корректировка срезывающего усилия на поперечных переборках

Состояние	Заданные			Кормовая переборка		Носовая переборка	
	Изгиб. момент	Срезыв. усилие	Место установки переб-ки	Срезыв. усилие	ΔQ_{aft}	Срезыв. усилие	ΔQ_{fwd}
	Прогиб	Положит.	Носовая	$-Q_{targ}$	$-Q_{targ} - Q_{aft}$	$Q_{targ\,(+ve)}$	$Q_{targ} - Q_{fwd}$

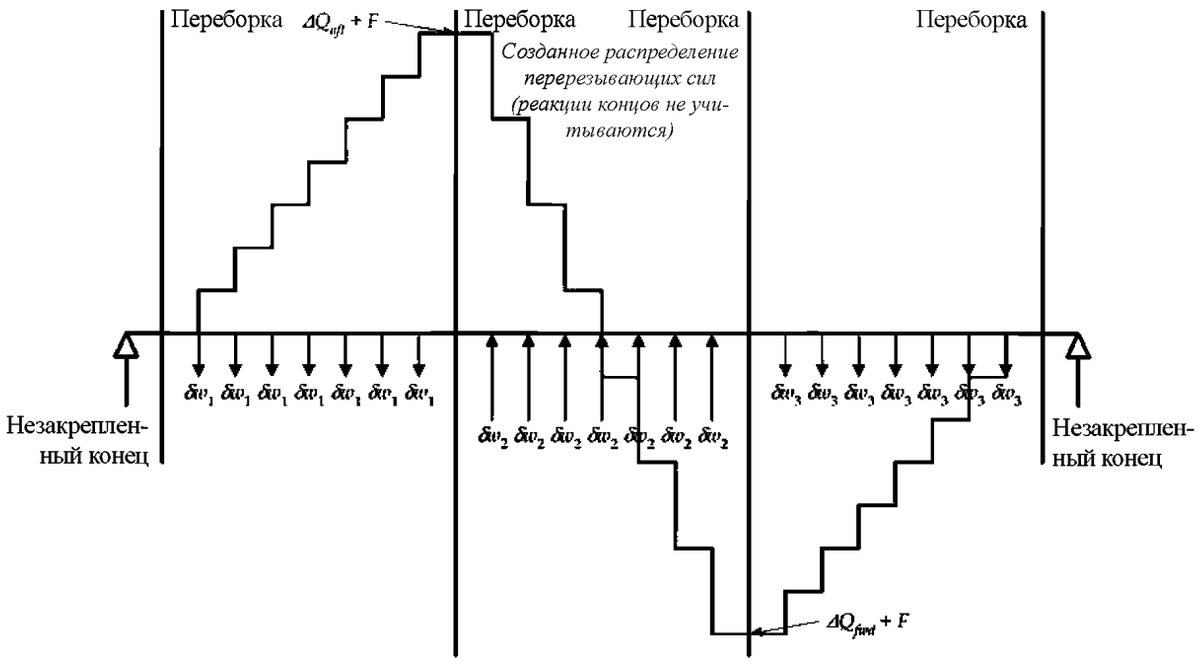
Примечание
Для определения условных обозначений см. *2.5.3.2.*

Рис. В.2.11
Распределение корректирующего срезывающего усилия по шпангоутам и результирующее распределение перерезывающей силы



Примечание
Набор поперечных переборок не нагружен.
Шпангоуты за пределами кормовой поперечной переборки кормового и носового танка не нагружены
F реактивные нагрузки, создаваемые закрепленными концами.

Рис. В.2.11
Распределение корректирующего срезывающего усилия по шпангоутам и результирующее распределение перерезывающей силы



Распределение срезывающих усилий, обусловленное корректирующим вертикальным усилием на шпангоутах



Примечание
$F = 0$, если $l_1 = l_3$ и $\Delta l_{fore} = \Delta l_{end}$, и нагрузки симметричны относительно середины модели.

Примечание
Для определения условных обозначений см. *табл. В.2.7.*

2.5.3.2 Требуемая корректировка срезывающих усилий на кормовой и носовой поперечных переборках среднего танка конечноэлементной модели для создания требуемых срезывающих усилий на переборках определяется по формулам:

$$\Delta Q_{aft} = -Q_{targ} - Q_{aft},$$

$$\Delta Q_{fwd} = Q_{targ} - Q_{fwd},$$

где ΔQ_{aft} требуемая корректировка срезывающего усилия на кормовой переборке среднего танка;
ΔQ_{fwd} требуемая корректировка срезывающего усилия на носовой переборке среднего танка;
Q_{targ} требуемое значение срезывающего усилия, которое должно быть достигнуто на носовой переборке среднего танка, см. *2.4.5;*
Q_{aft} срезывающее усилие, вызванное местными нагрузками на кормовой переборке среднего танка, см.*2.5.2;*
Q_{fwd} срезывающее усилие, вызванное местными нагрузками на носовой переборке среднего танка, см.*2.5.2.*

2.5.3.3 Величина вертикальных нагрузок, прикладываемых к каждому шпангоуту для обеспечения увеличения срезывающего усилия на переборках, может быть рассчитана с помощью простой балочной модели. Для случая, когда в каждом танке используется единая шпация, величина вертикального усилия, которое должно распределяться на каждом шпангоуте, может рассчитываться в соответствии с *табл. В.2.7*. Длина и шпация отдельных грузовых танков могут быть различны.

Таблица В.2.7

Формулы для расчета вертикальных нагрузок для корректировки срезывающих усилий в вертикальной плоскости

$$\delta w_1 = \frac{\Delta Q_{aft}(2l - l_2 - l_3) + \Delta Q_{fwd}(l_2 + l_3)}{(n_1 - 1)(2l - l_1 - 2l_2 - l_3)}$$

$$F = 0{,}5\left(\frac{W1(l_2 + l_1) - W3(l_2 + l_3)}{l}\right)$$

$$\delta w_2 = \frac{(W1 + W3)}{(n_2 - 1)} = \frac{(\Delta Q_{aft} - \Delta Q_{fwd})}{(n_2 - 1)}$$

$$\delta w_3 = \frac{-\Delta Q_{fwd}(2l - l_1 - l_2) - \Delta Q_{aft}(l_1 + l_2)}{(n_3 - 1)(2l - l_1 - 2l_2 - l_3)} = \frac{}{}$$

где l_1 длина кормового грузового танка модели;
l_2 длина среднего грузового танка модели;
l_3 лина носового грузового танка модели;
ΔQ_{aft} требуемая корректировка срезывающего усилия на кормовой переборке среднего танка, см. *рис. В.2.10;*
ΔQ_{fwd} требуемая корректировка срезывающего усилия на носовой переборке среднего танка, см. *рис. В.2.10;*
F реакции концевой опоры, обусловленная приложением вертикальных нагрузок к шпангоутам, см. *2.5.3;*
$W1$ суммарная равномерно распределенная вертикальная нагрузка, приложенная к кормовому танку конечноэлементной модели $(n_1 - 1)\delta w_1$;
$W2$ суммарная равномерно распределенная вертикальная нагрузка, приложенная к среднему танку конечноэлементной модели $(n_2 - 1)\delta w_2$;
$W3$ суммарная равномерно распределенная вертикальная нагрузка, приложенная к носовому танку конечноэлементной модели $(n_3 - 1)\delta w_3$;
n_1 число шпаций в кормовом танке конечноэлементной модели;
n_2 число шпаций в среднем танке конечноэлементной модели;
n_3 число шпаций в носовом танке конечноэлементной модели;
δw_1 распределенная нагрузка на шпангоуте в кормовом танке конечноэлементной модели;
δw_2 распределенная нагрузка на шпангоуте в среднем танке кончноэлементной модели;
δw_3 распределенная нагрузка на шпангоуте в носовом танке конечноэлементной модели;
Δl_{end} расстояние от концевой переборки кормового грузового танка до кормового конца конечноэлементной модели;
Δl_{fore} расстояние от носовой переборки носового грузового танка до носового конца конечноэлементной модели;
l полная длина конечноэлементной модели (балочной), включая участки за концевыми переборками: $= l_1 + l_2 + l_3 + \Delta l_{end} + \Delta l_{fore}$.

Примечание

1. Положительное направление нагрузок, срезывающих усилий и корректирующих срезывающих усилий в вертикальной плоскости в формулах соответствует *рис. В.2.10* и *В.2.11.*
2. $W1 + W3 = W2$.
3. Следует обратить внимание, что вышеприведенные формулы могут применяться только, если в каждом танке используется единая шпация, см. *2.5.3.3.* Длина и шпация отдельных грузовых танков могут быть различными.

2.5.3.4 Размер скорректированной нагрузки, которая должна быть приложена к конструктивным частям каждого поперечного сечения для формирования вертикальной нагрузки, $\delta\omega_i$, должен соответствовать *рис. В.2.12*. Данная нагрузка должна распределяться по узловым точкам частей конструкции. Если применяются 4 или 3-узловые листовые конечные элементы, нагрузка, которая должна быть приложена к каждой узловой точке плоскости, задается формулой:

$$F_{i-grid} = \frac{\sum_{1}^{n} 0{,}5 A_{i-elem-net50}}{A_{s-net50}} F_s,$$

где $F_{i\text{-}grid}$ нагрузка, которая должна быть приложена к i-той узловой точке модели, построенной по методу конечных элементов, конкретного рассматриваемого элемента конструкции, например, бортовая обшивка, продольные переборки и днищевые стрингеры, внутренние корпусные продольные переборки, наклонные листы скуловой цистерны, верхние наклонные листы внутреннего борта и ближайшие к борту как определено на *рис. В.2.12;*

$A_{i\text{-}elem\text{-}net50}$ площадь сечения каждого листового элемента в конкретном рассматриваемом конструктивном элементе (смотрите *рис. В.2.12*), который соединен с *i*-тым узлом;

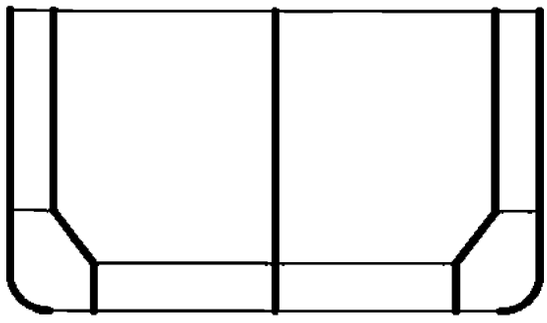
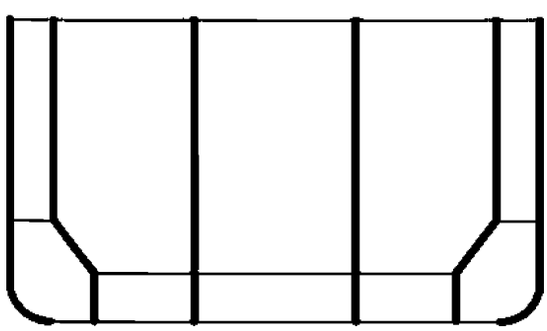
n количество листов, соединенных с *i*-тым узлом;

F_s общая нагрузка, приложенная к конкретному рассматриваемому элементу конструкции как указано на *рис. В.2.12*;

$A_{s\text{-}net50}$ площадь каждого листа в конкретном рассматриваемом конструктивном элементе, например, бортовая обшивка, продольные переборки и днищевые стрингеры, внутренние корпусные продольные переборки, наклонные листы скуловой цистерны, верхние наклонные листы внутреннего корпуса и наружные балки как определено на *рис. В.2.12.*

Таблица В.2.8

Коэффициенты распределения срезывающих усилий

	Бортовая обшивка $f = 0{,}55 + 0{,}097 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0.020 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Внутренний борт $f = 0{,}193 - 0{,}059 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0.058 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Диаметральная линия продольной переборки $f = 0{,}504 - 0{,}076 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} - 0.156 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$
	Бортовая обшивка $f = 0{,}28 + 0{,}087 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0.023 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Внутренний борт $f = 0{,}119 - 0{,}038 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} + 0.072 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$ Диаметральная линия продольной переборки $f_3 = 0{,}353 - 0{,}049 A_{1\text{-}net50}/A_{2\text{-}net50} - 0.095 A_{2\text{-}net50}/A_{3\text{-}net50}$

$A_{1\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретной бортовой обшивки (например, на одной стороне) включая скулу;

$A_{2\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретной продольной переборки внутреннего корпуса (например, на одной стороне) включая наклонный лист, бортовой стрингер двойного дна и, если имеется, верхняя наклонная пластина внутреннего корпуса;

$A_{3\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения пластины конкретной продольной переборки включая стрингер двойного дна в этом месте.

Продолжение табл. В.2.8

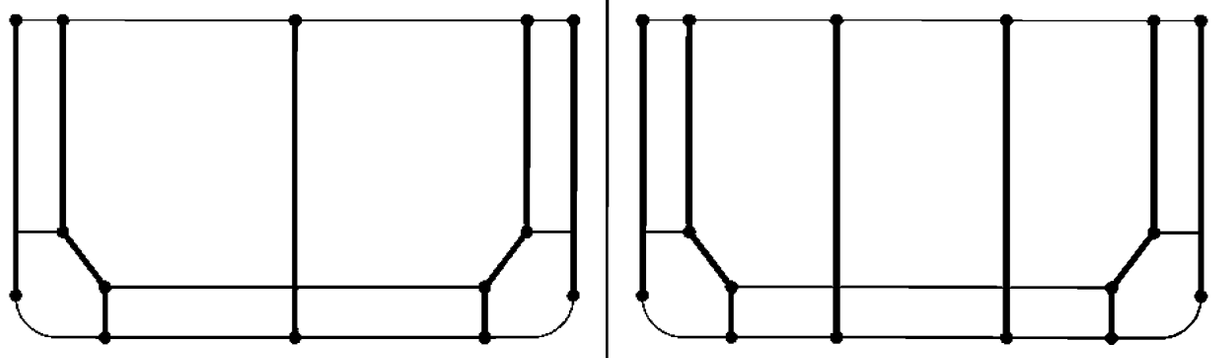
Примечание

1. Если часть конструктивного элемента не вертикальная, площадь должна рассчитываться с использованием площади проекции в вертикальном направлении.

2. Все площади листов должны рассчитываться с учетом моделированной толщины конечноэлементной модели грузового танка, см. *2.2.1.5.*

3. Для продольных переборок с вертикальными гофрами толщина гофров для расчета коэффициента распределения срезывающих усилий, *f*, должна быть откорректирована в соответствии с *разделом 4/2.6.4.*

Рис. В.2.12
Распределение корректирующей нагрузки по поперечному сечению



Элемент конструкции	**Приложенная нагрузка F_S**
Бортовая обшивка	$f * \delta\omega_i$
Продольная переборка включая днищевой стрингер внизу	$f * \delta\omega_i$
Продольная переборка внутреннего борта (вертикальная часть)	$f * \delta\omega_i * A_{Ih\text{-}net50} / A_{2\text{-}net50}$
Наклонный лист скуловой цистерны	$f * \delta\omega_i * A_{Hh\text{-}net50} / A_{2\text{-}net50}$
Верхние наклонные листы внутреннего корпуса	$f * \delta\omega_i * A_{Usp\text{-}net50} / A_{2\text{-}net50}$
Наружная балка	$f * \delta\omega_i * A_{Og\text{-}net50} / A_{2\text{-}net50}$

где $\delta\omega_i$ вертикальная нагрузка, которая должна быть приложена к каждому поперечному сечению (см. *2.5.3.3* и *табл. В.2.7*);

f коэффициент распределения срезывающего усилия части конструкции, рассчитанной для середины танка в соответствии с *табл. В.2.8*;

$A_{Ih\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретной продольной переборки внутреннего корпуса;

$A_{Hp\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретной наклонного листа скуловой цистерны;

$A_{Usp\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретного верхнего наклонного листа внутреннего корпуса;

$A_{Og\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа конкретной наружной балки;

$A_{2\text{-}net50}$ площадь поперечного сечения листа, рассчитанная в соответствии с *табл. В.2.8.*

Примечание

1. Смежная нагрузка должна быть приложена в плоскости нижнего и верхнего наклонного листа внутреннего борта.
2. Смежная нагрузка должна быть приложена к конкретному элементу конструкции.

2.5.4 Методика для корректировки изгибающих моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскости

2.5.4.1 Дополнительный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, должен быть приложен к обоим концам конечноэлементной модели грузового танка для создания требуемого изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, в среднем танке модели. Этот концевой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, может рассчитываться следующим образом:

$$M_{v\text{-}end} = M_{v\text{-}targ} - M_{v\text{-}peak},$$

где $M_{v\text{-}end}$ дополнительный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, приложенный к обоим концам конечноэлементной модели;

$M_{v\text{-}targ}$ требуемый изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, как указано в *2.4.5;*

$M_{v\text{-}peak}$ максимальный или минимальный изгибающий момент в пределах длины среднего танка, обусловленный всеми местными нагрузками, описанными в *2.5.2.3*, и дополнительными нагрузками, приложенными для создания требуемого срезывающего усилия, см.*2.5.3*. $M_{v\text{-}peak}$ может быть принят за максимальный изгибающий момент, если $M_{v\text{-}targ}$ является перегибом (положит.), и за минимальный, если $M_{v\text{-}targ}$ является перегибом (отриц.). $M_{v\text{-}peak}$ может быть получен с помощью анализа методом конечных элементов. В качестве альтернативы, $M_{v\text{-}peak}$ может быть рассчитан следующим образом, основываясь на балочной модели с незакрепленными концами:

$$M_{v\text{-}peak} = \max\{M_0 + xF + M_{lineload}\},$$

M_0 изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, в положении x, обусловленный местными нагрузками, описанными в *2.5.2.3*;

$M_{lineload}$ изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, в положении x, обусловленный приложением вертикальных линейных нагрузок к шпангоутам для создания требуемого срезывающего усилия, см. *2.5.3*;

F реактивная сила на концах, вызванная приложением вертикальных нагрузок к шпангоутам, см. *2.5.3*;

x расстояние шпангоута по длине в районе среднего танка конечноэлементной модели от конца, см. *2.5.4.2*.

2.5.4.2 Для случаев нагрузки при волнении с траверза и под углом к Д.П. дополнительный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, должен быть приложен к концам конечноэлементной модели грузового танка для создания требуемого изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, в сечении в пределах длины среднего танка модели. Дополнительный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, может быть рассчитан следующим образом:

$$M_{h\text{-}end} = M_{h\text{-}targ} - M_{h\text{-}peak},$$

где $M_{h\text{-}end}$ дополнительный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, прилагаемый к концам конечноэлементной модели;

$M_{h\text{-}targ}$ требуемый заданный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, см. *2.4.6*;

$M_{h\text{-}peak}$ максимальный изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, в районе среднего танка, вызванный местными нагрузками, описанными в *2.5.2.3*. $M_{v\text{-}peak}$ может быть принят за максимальный изгибающий момент в горизонтальной плоскости, если $M_{h\text{-}targ}$ положительный, и за минимальный, если $M_{h\text{-}targ}$ отрицательный.

2.5.4.3 Изгибающие моменты, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскости, должны рассчитываться по длине среднего танка конечноэлементной модели для определения положения и величины каждого максимального/минимального изгибающего момента, в соответствии с *2.5.4.1* и *2.5.4.2*

2.5.4.4 Дополнительный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, $M_{v\text{-}end}$, и изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, $M_{h\text{-}end}$, должны прилагаться к обоим концам модели грузового танка. Изгибающие моменты могут прилагаться с помощью одного из методов, описанных в *2.5.4.5* или *2.5.4.6*.

2.5.4.5 Изгибающие моменты, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскости, могут прилагаться к концам модели путем распределения осевых узловых усилий по всем продольным элементам в соответствии с элементарной теорией изгиба следующим образом:

$$(F_x)_i = \frac{M_{v-end}}{I_{y-net50}} \frac{A_{i-net50}}{n_i} z_i$$ для изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости,

$$(F_x)_i = \frac{M_{h-end}}{I_{z-net50}} \frac{A_{i-net50}}{n_i} y_i$$ для изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости,

где M_{v-end} изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, прилагаемый к концам модели;
M_{h-end} изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, прилагаемый к концам модели;
$(F_x)_i$ осевое усилие, прилагаемое к узловой точке i-го элемента;
$I_{y-net50}$ вертикальный момент инерции эквивалентного бруса в концевом сечении относительно его горизонтальной нейтральной оси;
$I_{z-net50}$ горизонтальный момент инерции эквивалентного бруса в концевом сечении относительно его вертикальной нейтральной оси (обычно диаметральная линия);
z_i расстояние по вертикали от нейтральной оси до центра площади поперечного сечения i-го элемента;
y_i расстояние по горизонтали от нейтральной оси до центра площади поперечного сечения i-го элемента;
$A_{i-net50}$ площадь поперечного сечения i-го элемента;
n_i число узловых точек i-го элемента в поперечном сечении, $n_i = 2$ для листового элемента с 4 узлами.

2.5.4.6 Изгибающие моменты, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскости, могут в качестве альтернативы быть приложены к независимой узловой точке в месте пересечения вертикальной нейтральной оси (обычно диаметральной линии) с горизонтальной нейтральной осью, см. *рис. В.2.13*. Все узловые точки продольных элементов в концевом сечении должны быть жестко связаны с независимой точкой в θ_y (для изгиба в вертикальной плоскости) и θ_z (для изгиба в горизонтальной плоскости) и δ_x. Эта независимая точка не должна быть связана с моделью, за исключением жесткой связи. Жесткие связи должны поддерживать плоскость модели так, чтобы на нее воздействовал приложенный изгибающий момент, что равноценно обеспечению предписанного смещения узловых точек в соответствии с элементарной теорией изгиба.

2.6 Граничные условия

2.6.1 Общие положения

2.6.1.1 Все граничные условия, описанные в данном разделе, соответствуют глобальной системе координат, определенной в *разделе 4/1.4*. Граничные условия, применяемые на концах конечноэлементной модели грузового танка, приведены в *табл. В.2.9*. Анализ может быть выполнен путем приложения всех нагрузок к модели в качестве законченного варианта нагрузки или путем комбинирования характеристик напряжений, обусловленных несколькими отдельными под-вариантами.

2.6.1.2 Опорные податливые элементы, т.е. податливые опоры с жесткой заделкой одного конца по всем степеням свободы, с жесткостью в общей y-ой степени свободы, должны прилагаться к узловым точкам вдоль палубы, внутреннего дна и днищевой обшивки, как показано на *рис. В.2.13*.

2.6.1.3. Опорные податливые элементы с жесткостью в z-й степени свободы должны прилагаться к узловым точкам вдоль вертикальной части бортовой обшивки, продольных переборок внутреннего корпуса и нефтенепроницаемых продольных переборок, как показано на *рис. В.2.13*.

Рис. В.2.13
Податливые опоры на концах модели.

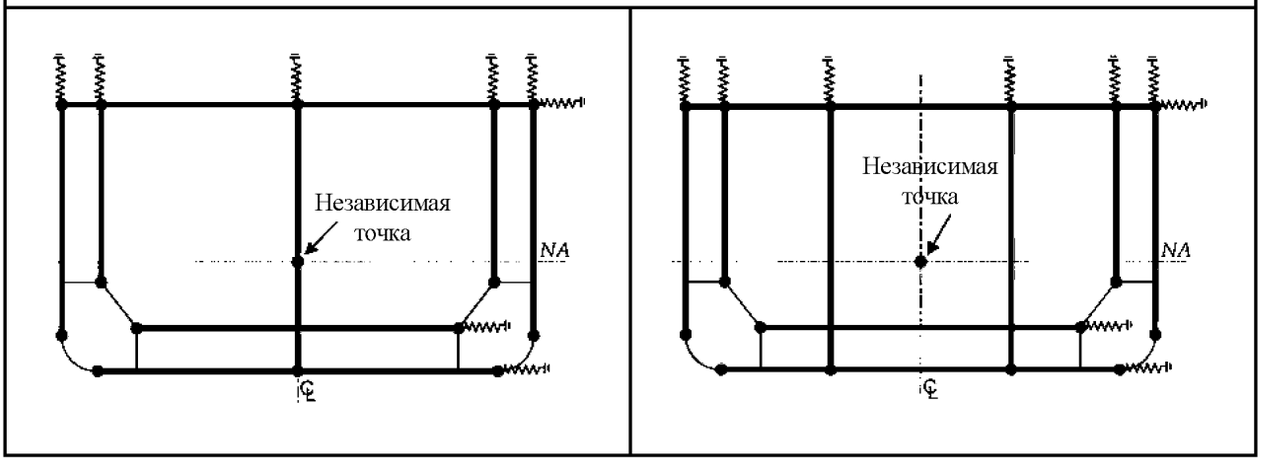


Таблица В.2.9

Граничные условия заделки

Местонахождение	**Перемещение**			**Вращение**		
	σ_x	σ_y	σ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Кормовой конец						
Кормовой конец (все продольные элементы)	***RL***	**–**	**–**	**–**	***RL***	***RL***
Независимая точка на кормовом конце, см. *рис. В.2.13*	Неподвижн.	–	–	–	$M_{v\text{-}end}$	$M_{h\text{-}end}$
Палуба, внутренне дно и наружная обшивка	–	Податливые опоры	–	–	–	–
Борт, внутренний борт и продольные переборки	–	–	Податливые опоры	–	–	–
Носовой конец						
Носовой конец (все продольные элементы)	***RL***	**–**	**–**	**–**	***RL***	***RL***
Независимая точка на носовом конце, см. *рис. 8.2.13*	–	–	–	–	$M_{v\text{-}end}$	$M_{h\text{-}end}$
Палуба, внутреннее дно, наружная обшивка	–	Податливые опоры	–	–	–	–
Борт, внутренний борт и продольные переборки	–	–	Податливые опоры	–	–	–

Продолжение табл. В.2.9

где – без заделки (свободная); *RL* узловые точки всех продольных элементов, жестко связанных с независимой точкой на нейтральной оси на диаметральной линии.
Примечания. 1. Все перемещения и вращения соответствуют глобальной системе координат, определенной в *разделе 4/1.4.* 2. Если $M_{h\text{-}end}$ не прилагается, независимые точки на носовом и кормовом концах должны быть свободны в θ_z. 3. Если $M_{v\text{-}end}$ на прилагается, независимые точки на носовом и кормовом концах должны быть свободны в θ_y. 4. Если не прилагается изгибающий момент, независимые точки на кормовом и носовом концах должны быть свободны в θ_y и θ_z. 5. Если изгибающий момент прилагается как узловые усилия, независимые точки на носовом и кормовом концах должны быть свободными в соответствующей степени свободы вращения (т.е. θ_y и/или θ_z).

2.6.2 Расчет податливости опор

2.6.2.1 Жесткость, c, отдельных податливых опор для каждого конструктивного элемента, прилагаемая к каждому концу модели грузового танка, задается следующей формулой:

$$c = \left(\frac{E}{1+\nu}\right)\frac{A_{s-net50}}{l_{tk}n} = 0{,}77\,\frac{A_{s-net50}E}{l_{tk}n} \quad \text{Н/мм},$$

где $A_{s\text{-}net50}$ площадь среза отдельного рассматриваемого конструктивного элемента, т.е. настила палубы, внутреннего дна, днищевой обшивки, бортовой обшивки, продольной переборки внутреннего дна или нефтенепроницаемой продольной переборки; $A_{s\text{-}net50}$ должна рассчитываться с учетом толщины конечноэлементной модели грузового танка для участков, показанных в *табл. В.2.10* для соответствующего рассматриваемого конструктивного элемента;

ν коэффициент Пуассона для материала;

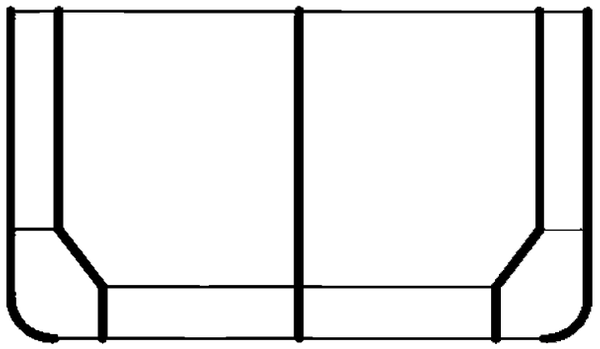
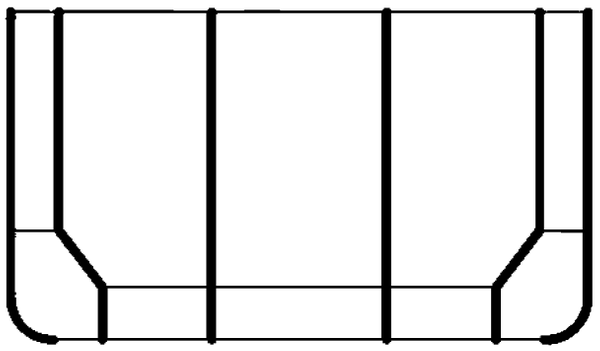
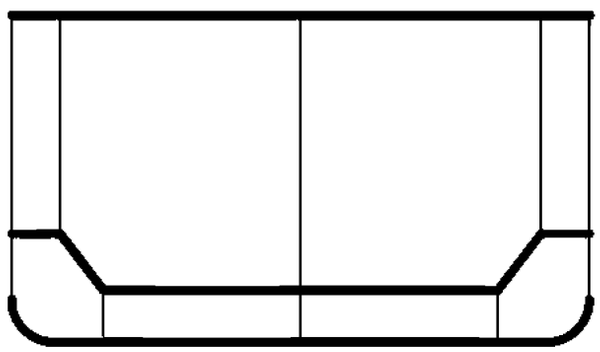
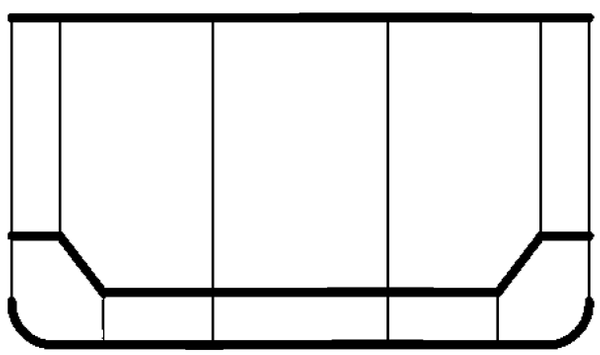
l_{tk} длина грузового танка, между переборками среднего танка конечноэлементной модели;

E модуль упругости, Н/мм^2;

n количество узловых точек, в которых податливые опоры прикладываются к рассматриваемому конструктивному элементу.

Таблица В.2.10

Площади среза, учитываемые для расчета податливости опор

Вертикальные податливые опоры		
	Борт	Площадь бортовой обшивки, включая скуловую часть
	Продольные переборки внутреннего борта	Площадь обшивки внутреннего борта, включая нижнюю наклонную часть второго дна и бортовой стрингер двойного дна в этом районе
	Продольные переборки	Площадь обшивки продольной переборки, включая продольную балку двойного дна
	Примечание Если часть конструктивного элемента не вертикальная, площадь должна рассчитываться с использованием площади проекции в вертикальном направлении.	
Горизонтальные податливые опоры		
	Палуба	Площадь настила палубы
	Внутреннее дно	Площадь настила внутреннего дна, включая нижнюю наклонную часть второго дна и горизонтальную продольную балку в этом районе
	Днищевая обшивка	Площадь днищевой обшивки, включая скуловую часть
	Примечание Если часть конструктивного элемента на горизонтальная, площадь должна рассчитываться с использованием площади проекции в горизонтальном направлении.	

2.6.2.2 Для вертикальных гофрированных продольных переборок, толщина гофра для расчета податливости опор, *c,* должна рассчитываться в соответствии с *разделом 4/2.6.4.*

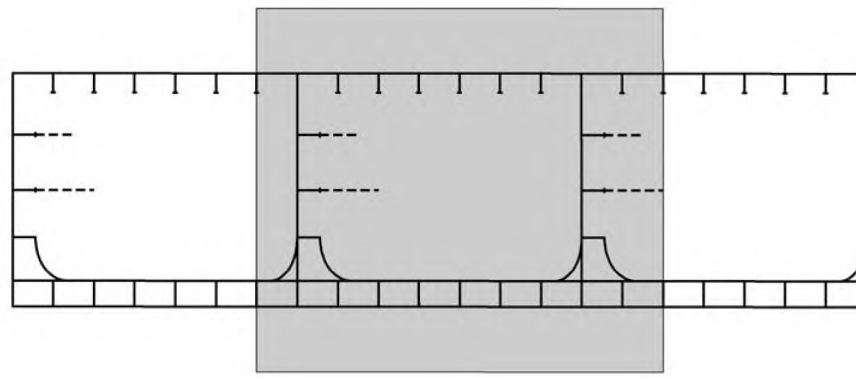
2.6.2.3 В качестве альтернативы, вместо податливых опор, могут использоваться прутковые элементы, при этом эквивалентная площадь поперечного сечения прутка составляет $(c \cdot l)/E$, где l длина стержня. Один конец прутка должен иметь жесткую заделку по всем степеням свободы.

2.7 Оценка результатов

2.7.1 Общие положения

2.7.1.1 Проверка результатов по критериям приемлемости должна проводиться для конструктивных элементов в продольном направлении, как показано на *рис. B.2.14*, который включает средние танки конечноэлементной модели трех танков и район в нос и в корму от средних танков в пределах протяженности поперечной балки и опорной конструкции поперечной переборки. Для оценки прочности танков в средней грузовой зоне необходимо проверить уровень напряжений и характеристики устойчивости продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, основных опорных конструктивных элементов и поперечных переборок. Для оценки требуемого подкрепления в районе поперечных переборок с учетом действия срезывающих нагрузок эквивалентного бруса необходимо проверить уровень напряжения и характеристики устойчивости продольных переборок внутреннего корпуса, включая верхний наклонный лист, если он установлен, бортовую обшивку, нижнюю скуловую цистерну, днищевые продольные балки и продольные переборки.

Рис. B.2.14
Протяженность конечноэлементной модели для проверки по критериям приемлемости



2.7.1.2 Оценка результатов должна проводиться для стандартных случаев нагрузки, указанных в 2.3.1, и любых других случаев нагрузки, особо рассмотренных в соответствии с требованием *раздела 9/2.2.3*.

2.7.2 Оценка напряжений

2.7.2.1 Напряжения не должны превышать допустимые значения, приведенные в *разделе 9/2.2.5*.

2.7.2.2 Максимально допустимые напряжения основываются на размерах сетки и типах элементов, описанных в *2.2*.

2.7.2.3 Напряжение Мизеса, σ_{vm}, должно рассчитываться на основании мембранных прямых и срезывающих напряжений листового элемента. Если используются оболочечные элементы, напряжения должны оцениваться в средней плоскости элемента. Если используются листовые элементы, напряжения должны оцениваться в центре тяжести элемента.

2.7.2.4 Перерезывающие напряжения элемента в районе вырезов в стенках балок должны быть откорректированы на потерю площади среза в соответствии со следующей формулой. Откорректированное срезывающее напряжение элемента должно использоваться для расчета напряжения Мизеса элемента для проверки по критериям приемлемости.

$$\tau_{cor} = \frac{h\, t_{mod-net50}}{A_{s-net50}}\, \tau_{elem},$$

где τ_{cor} откорректированное срезывающее напряжение элемента;
h высота стенки балки в районе выреза, см. *рис. B.2.8.*
Если геометрия выреза моделируется, высота h должна приниматься как нетто высота за вычетом высоты моделированного выреза;
$t_{mod-net50}$ моделированная толщина стенки балки в районе выреза, см. *табл. B.2.2*;
$A_{s-net50}$ фактическая эффективная площадь среза стенки балки, включая площадь, потерянную благодаря вырезам для ребер жесткости, рассчитанная в соответствии с *разделом 4/2.5*. Толщина стенки балки должна основываться на эффективной толщине, полученной путем вычитания $0{,}5\, t_{corr}$ из общей толщины;
τ_{elem} срезывающее напряжение элемента до корректировки.

2.7.2.5 Корректировка срезывающего напряжения элемента не требуется, если разность между моделированной площадью среза и фактической эффективной площадью среза, $A_{s-net50}$, определенной в *2.7.2.4*, менее 10 % фактической эффективной площади среза листа.

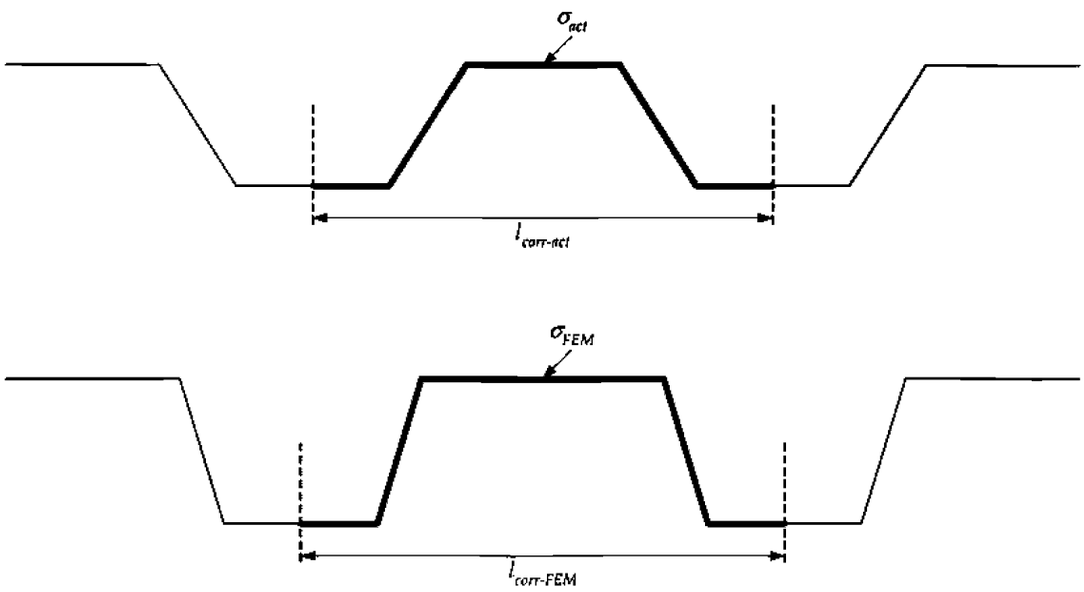
2.7.2.6 Если гофр не моделируется по его точной геометрической форме, осевое напряжение в пояске гофра, σ_{fl-act}, должно приниматься как большее из значений:

$$\sigma_{fl-act} = \sigma_{fl-FEM} \frac{Z_{corr-FEM-net50}}{Z_{corr-act-net50}} \frac{l_{corr-act}}{l_{corr-FEM}}$$

$$\sigma_{fl-act} = \sigma_{fl-FEM}$$

где σ_{fl-FEM} осевое напряжение, полученной с помощью анализа методом конечных элементов, см. *рис. B.2.15*;
$Z_{corr-FEM-net50}$ момент сопротивления моделированного гофра, рассчитанный в соответствии с *рис.B.2.15*;
$Z_{corr-act-net50}$ момент сопротивления фактического гофра, рассчитанный в соответствии с *рис. B.2.15*;
$l_{corr-act}$ длина сечения гофра, как показано на *рис. B.2.15*;
$l_{corr-FEM}$ длина сечения гофра, как показано на *рис. B.2.15*

Рис. B.2.15
Осевое напряжение изгиба в пояске гофра



Примечание
$l_{corr-act}$ = длина сечения гофра для расчета $Z_{corr-act-net50}$;
$l_{corr-FEM}$ = длина сечения гофра для расчета $Z_{corr-FEM-net50}$.

2.7.3 Оценка устойчивости

2.7.3.1 Устойчивость должна оцениваться для обшивки и подкрепленных панелей продольных конструктивных элементов эквивалентного бруса, основных опорных конструкций и поперечных переборок, включая палубу, двойной борт, борт, днище, двойное дно, нижнюю скуловую цистерну, поперечные и вертикальные рамные балки, стрингеры, конструкции поперечных и продольных переборок. Устойчивость изогнутых панелей (например, скулы), поясков основных опорных конструкций и книц, подкрепляющих полку составной балки, не оценивается на основании результатов напряжений, полученных с помощью анализа методом конечных элементов.

2.7.3.2 Коэффициент запаса по устойчивости для всех листов и подкрепленных панелей не должен превышать допустимые значения, приведенные в *разделе 9/2.2.5*. Метод выполнения оценки устойчивости для листов и подкрепленных панелей описан в *приложении D/6*.

2.7.3.3 Оценка устойчивости должна основываться на напряжениях, полученных с помощью анализа методом конечных элементов в сочетании с моделью характеристики устойчивости, основывающейся на эффективной толщине, полученной путем вычитания полной толщины с надбавкой на коррозию, t_{corr}, и любых добавок владельца из предложенной толщины. Это вычитание толщины относится ко всей обшивке и стенкам и пояскам ребер жесткости.

2.7.3.4 Оценка устойчивости должна основываться на мембранном напряжении, определенном в центре тяжести листовых элементов. Если используются оболочечные элементы, напряжения в средней плоскости элемента должны использоваться для оценки устойчивости.

2.7.3.5 Комбинированное взаимодействие двухосных напряжений сжатия, срезывающих напряжений и нагрузок от бокового давления должно учитываться в расчете устойчивости. Если поправка вносится в напряжения конечного элемента в соответствии с требованием *2.7.2*, оценка устойчивости должна основываться на откорректированных напряжениях.

2.7.3.6 Для танкеров с поперечными конструкциями, устойчивость пиллерсов поперечной конструкции должна оцениваться с использованием формулы устойчивости, приведенной в *разделе 10/3.5.1*. Осевое усилие, приложенное к поперечной конструкции, должно рассчитываться как сумма горизонтальных узловых усилий по сечению в середине протяженности поперечной конструкции.

2.7.3.7 При отсутствии подходящего усовершенного метода оценки устойчивости, описанного в *приложении D/6* для моделирования гофра переборки, оценка местной устойчивости фланцев единичного гофра должна соответствовать *разделу 10/3.5.2* и критериям, приведенным в *разделе 9/2.2.5*. Оценка должна основываться только на одноосном напряжении (мембранном напряжении, определенном в центре тяжести элемента), параллельному изломам гофра. Усредненное напряжение между элементами не должно использоваться. Для части фланца гофрированного листа от верха нижней опоры переборки до уровня, находящегося на расстоянии $s/2$ выше, где s – ширина фланца, напряжение, используемое для оценки устойчивости, может не приниматься большим, чем величина, полученная на расстоянии $s/2$ над верхом опоры переборки. Величина напряжения на расстоянии $s/2$ может быть получена путем интерполяции, если величина напряжения не может быть получена непосредственно с листового элемента.

2.7.3.8 При отсутствии подходящего усовершенного метода оценки устойчивости, описанного в *приложении D/6* для моделирования панели с отверстием, местная устойчивость листовых стенок главных несущих элементов в районе отверстий должна оцениваться в соответствии с *разделом 10/3.4*, основываясь на критериях приемки по коэффициенту запаса по устойчивости, указанному в *разделе 9/2.2.5*. Оценка должна основываться на мембранном напряжении конечных элементов, определенном в центре тяжести листовых элементов. Напряжения в районе стенки, требующиеся для оценки устойчивости, должны быть получены как усредненные напряжения листовых элементов в пределах требуемой площади. Напряжение, полученное либо путем анализа грузового танка, либо путем локального анализа с использованием измерительной мелкой сетки может использоваться для анализа. Если влияние отверстия не учитывается в анализе грузового танка, напряжения, полученные с помощью анализа методом конечных элементов, должны быть откорректированы в соответствии с *2.7.2.4* и *2.7.2.5*.

3 Локальный анализ прочности конструкции с использованием мелкой сетки

3.1 Общие положения

3.1.1 Область применения

3.1.1.1 Для танкеров обычной конструкции, конечноэлементный анализ прочности конструкции с использованием мелкой сетки должен быть в соответствии с требованиями данного раздела.

3.1.1.2 Дополнительные требования к анализу с использованием мелкой сетки должны соответствовать *разделу 9/2.3.1.3* и *разделу 9/2.3.1.4*.

3.1.2 Рамный шпангоут и отбойная переборка

3.1.2.1 Верхние соединения излома скуловой цистерны, показанные на *рис. В.3.1*, должны оцениваться путем анализа с мелкой сеткой на типичном рамном шпангоуте в среднем танке модели грузовых танков. Концы основной кницы и вырезы, показанные на *рис. В.3.1*, должны оцениваться путем анализа с использованием мелкой сетки, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

3.1.2.2 Если установлена отбойная переборка, концы основной кницы и вырезы в поперечных и вертикальных стенках, как показано на *рис. В.3.1*, должны оцениваться путем анализа с использованием мелкой сетки, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

3.1.2.2 Рамный шпангоут, который показывает самые высокие напряжения Мизеса в районе элементов конструкции на основании анализа грузовых танков, должен выбираться для анализа с использованием мелкой сетки.

Рис. В.3.1
Участки, требующие анализа с использованием мелкой сетки на типовом рамном шпангоуте, отбойной переборке и рамном шпангоуте, примыкающем к поперечной переборке

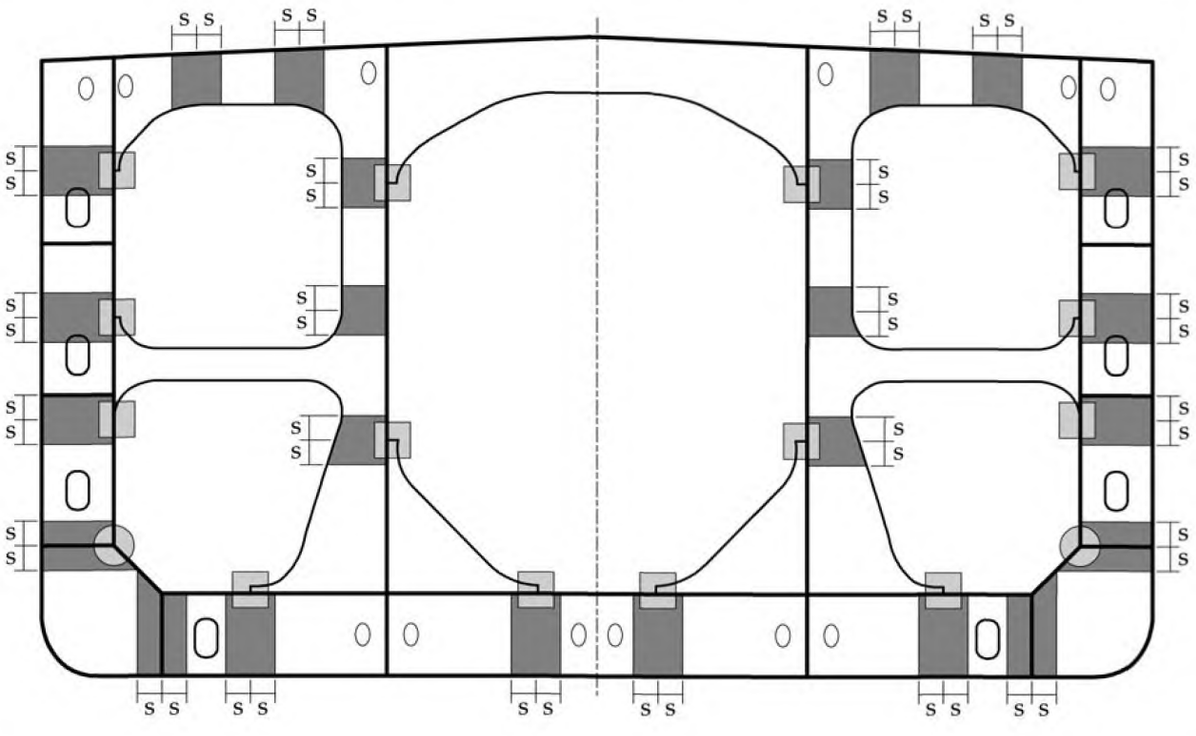


Рис. В.3.1 (продолжение)
Участки, требующие анализа с использованием мелкой сетки на типовом рамном шпангоуте, отбойной переборке и рамном шпангоуте, примыкающем к поперечной переборке

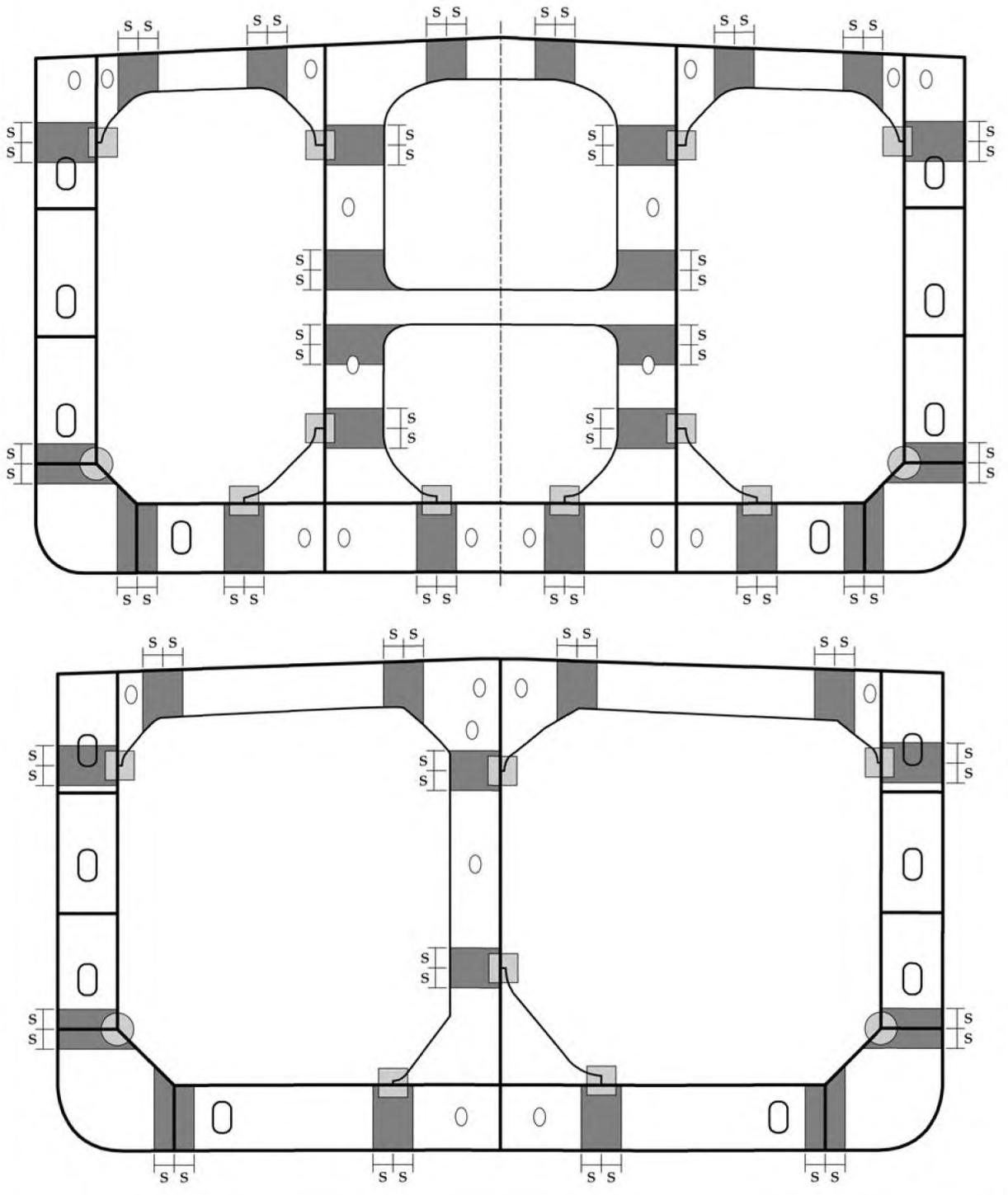
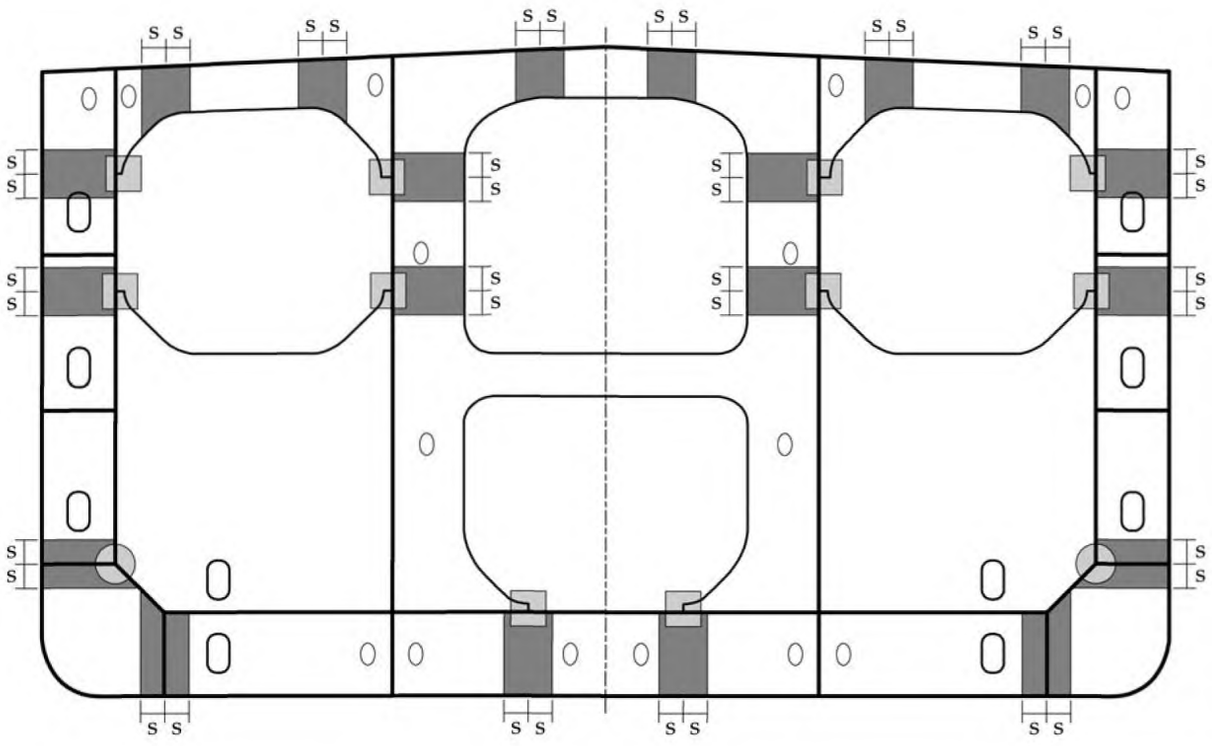


Рис. B.3.1 (продолжение)
Участки, требующие анализа с использованием мелкой сетки на типовом рамном шпангоуте, отбойной переборке и рамном шпангоуте, примыкающем к поперечной переборке



Верхнее соединение скуловой цистерны

Концы основной кницы

Вырезы (заштрихованная область)

Вырезы (незаштрихованная область)

Анализ с использованием мелкой сетки излома верхней скуловой цистерны требуется только для типичного рамного шпангоута грузового танка, см. *3.1.2.*

Анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

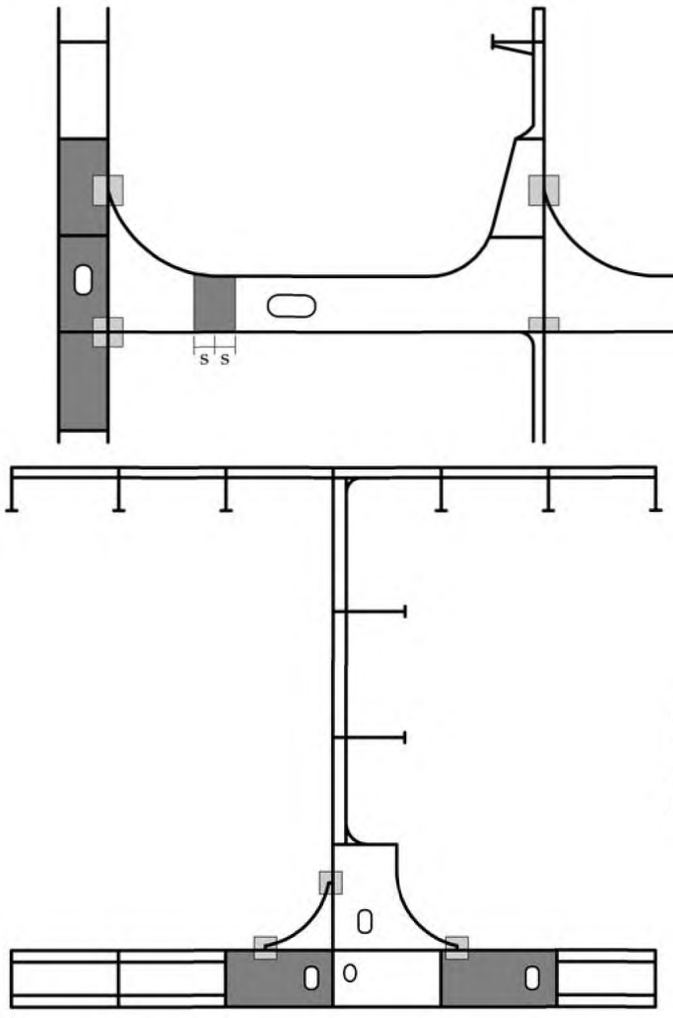
Анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться для всех вырезов (заштрихованная область), если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

Анализ с использованием мелкой сетки или оценка, основанная на критериях отбора, приведенных в *3.1.6*, не требуется для вырезов (незаштрихованная область), если:

- $h_0/h < 0{,}35$, а $g_0 < 1{,}2$ и,
- каждый конец выреза образует полукруглую дугу (т.е. радиус выреза равен $b/2$).

Где h_0, h и g_0 определены в *табл. B.2.2,a* b самая маленькая величина из длин и широт вырезов. Другие вырезы в незаштрихованных областях подвергаются анализу с использованием мелкой сетки, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

Рис. B.3.2
Участки, требующие анализа с использованием мелкой сетки на горизонтальной продольной балке и поперечной переборке до соединений с двойным дном



Участок, требующий анализа с использованием мелкой сетки

Анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются

Концы и пятки основной кницы

Вырезы (заштрихованная область)

Вырезы (незаштрихованная область)

Анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

Анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться для всех вырезов (заштрихованная область), если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

Анализ с использованием мелкой сетки или оценка, основанная на критериях отбора, приведенных в *3.1.6*, не требуется для вырезов (незаштрихованная область), если:

- $h_0/h < 0{,}35$, а $g_0 < 1{,}2$ и,
- каждый конец выреза образует полукруглую дугу (т.е. радиус выреза равен $b/2$).

Где h_0, h и g_0 определены в *табл. B.2.2*,а b самая маленькая величина из длин и широт вырезов. Другие вырезы в незаштрихованных областях подвергаются анализу с использованием мелкой сетки, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются.

3.1.3 Стрингеры поперечных переборок, опорные конструкции и примыкающий рамный шпангоут

3.1.3.1 Анализ с использованием мелкой сетки должен выполняться в следующих местах, если критерии отбора, приведенные в *3.1.6*, не удовлетворяются:

а) концы основных книц, пятки и вырезы в стрингерах поперечной переборки, как показано на *рис. В.3.2*. Стрингеры носовых и кормовых поперечных переборок среднего танка конечно-элементной модели, которые показывают самые высокие напряжения Мизеса в районе элементов конструкции на основании анализа грузовых танков, должны выбираться для анализа с использованием мелкой сетки;

б) концы основных книц и вырезы в поперечных переборках до соединения с двойным дном или опорной конструкции, как показано на *рис. В.3.2*. Соединение с двойным дном/ опорная конструкция в районе носовых и кормовых поперечных переборок среднего танка конечно-элементной модели, которые показывают самые высокие напряжения Мизеса в районе элементов конструкции на основании анализа грузовых танков, должны выбираться для анализа с использованием мелкой сетки;

в) концы основных книц и вырезы, показанные на *рис. В.3.1* в рамном шпангоуте, примыкающем к поперечной переборке. Должны учитываться рамные шпангоуты в районе горизонтальных стрингеров носовых и кормовых поперечных переборок среднего танка конечноэлементной модели грузовых танков. Рамный шпангоут, который показывает самые высокие напряжения Мизеса в районе элементов конструкции на основании анализа грузовых танков, должен выбираться для анализа с использованием мелкой сетки.

3.1.4 Продольные связи палубы и двойного дна и примыкающие вертикальные ребра жесткости поперечных переборок

3.1.4.1 Должны быть оценены концевые соединения и имеющиеся подкрепления стенок следующих конструктивных элементов:

а) по меньшей мере, одна пара продольных ребер жесткости внутреннего и наружного дна и примыкающее вертикальное ребро жесткости поперечной переборки;

б) по меньшей мере, одно продольное ребро жесткости на палубе и примыкающее вертикальное ребро жесткости поперечной переборки.

3.1.4.2 Выбор продольных и вертикальных ребер жесткости, подлежащих анализу, должен основываться на максимальном относительном смещении между опорами, например, между флором и поперечной переборкой. Если имеется значительное смещение в концевых элементах крепления и прочных размерах между ребрами жесткости, может потребоваться анализ дополнительных ребер жесткости. На *рис. В.3.3* показаны участки, которые требуют анализа с использованием мелкой сетки в районе продольных связей палубы и двойного дна и днищевых продольных связей, а также вертикальных ребер жесткости поперечной переборки.

3.1.5 Гофрированные переборки

3.1.5.1 Если шедерные листы не установлены или установлены без гассетных листов на продольных или поперечных гофрированных переборках, то соединения гофров поперечных и продольных переборок с нижней опорой, как показано на *рис. В.3.4*, должны быть оценены с помощью анализа с использованием мелкой сетки.

3.1.5.3 Если шедерные листы с гассетами установлены на поперечных или продольных гофрированных переборках, то соединения гофра в верхней части гассетного листа должны быть оценены с помощью анализа с использованием мелкой сетки.

3.1.5.2 Выбор местонахождения единичного гофра для анализа с использованием мелкой сетки должен основываться на результате определения напряжения с помощью анализа грузовых танков. Место с самым высоким напряжением Мизеса в соединение гофрированных частей, должно выбираться для анализа.

3.1.5.4 Если поперечные и продольные гофрированные переборки имеют различную конструкцию или размеры, анализ с использованием мелкой сетки должен проводиться на обеих переборках.

3.1.5.5 Если уровень напряжений в соединении гофра с нижней трапециидальной опорой, превышает допускаемый критерий, рекомендуется, чтобы шедерные листы листы, и гассетные листы, были бы установлены в соответствии с *приложением С/2.5* для уменьшения напряжения. Для необходимой организации опорных конструкций гофрированных переборок без нижней трапециидальной опоры см. *раздел 8/2.5.7.9*.

Рис. В.3.3
Участки, требующие проведения анализа с использованием мелкой сетки на подпалубных продольных связях, продольных связях внутреннего и наружного дна

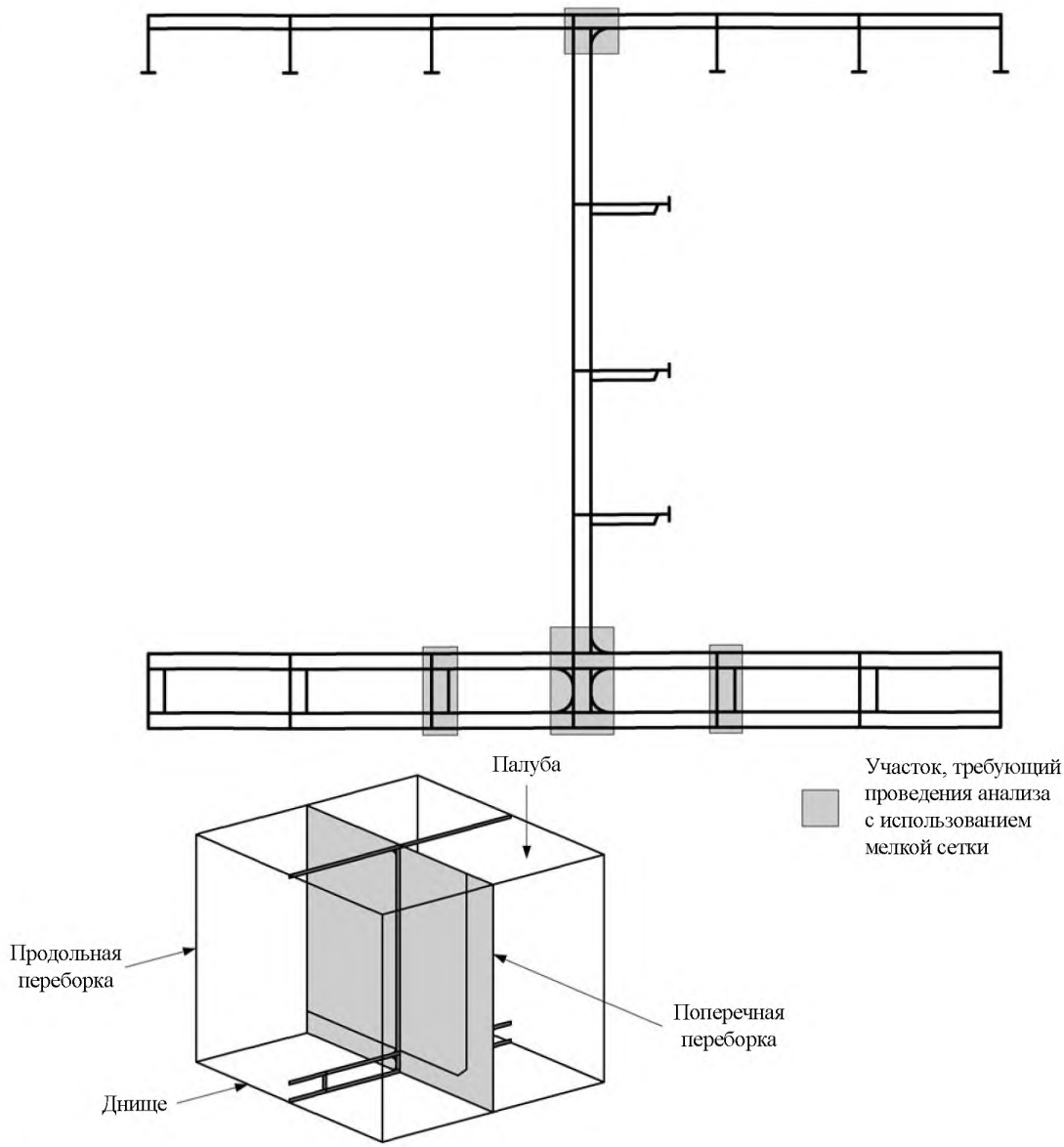
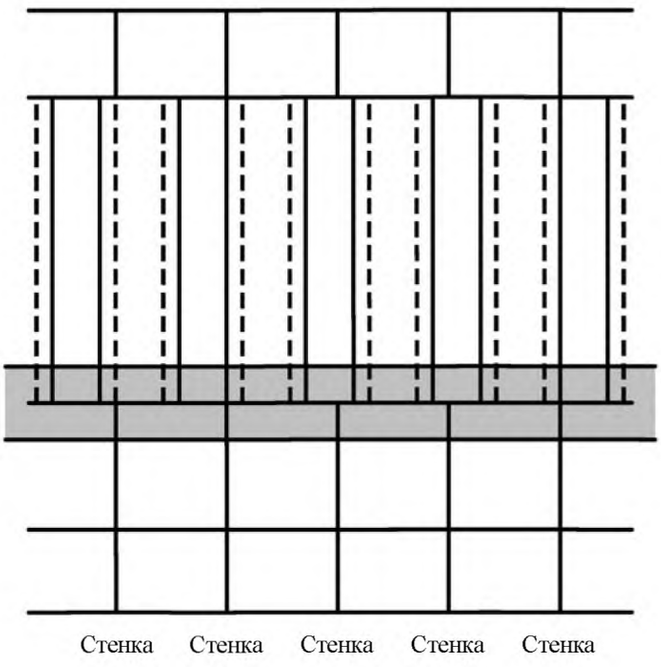


Рис. B.3.4
Участки, требующие проведения анализа с использованием мелкой сетки в соединениях гофрированной переборки с нижней трапециидальной опорой



Примечание
Точное местонахождение единичного гофра, подлежащего оценке с помощью анализа с использованием мелкой сетки, должно выбираться на основании напряжения, определенного путем анализа грузовых танков.

3.1.6 Критерии отбора для анализа с использованием мелкой сетки

3.1.6.1 Критерии, приведенные в данном разделе, предназначены для выявления участков, которые требуют исследования с помощью анализа методом конечных элементов с использованием мелкой сетки. Эти критерии относятся к вырезам, концам книц и пяткам рамных шпангоутов, вертикальным и поперечным рамным связям отбойных переборок, горизонтальным продольным балкам поперечных переборок и примыкающим горизонтальным бортовым стрингерам, опорным конструкциям и днищевым продольным балкам.

3.1.6.2 Если критерии, приведенные в данном разделе для элемента конструкции, удовлетворяются, анализ методом конечных элементов с использованием мелкой сетки может не применяться за исключением указанного в *3.1.6.3*. Соответствие этим критериям должно проверяться для всех случаев нагрузки на конечные элементы.

3.1.6.3 Большие вырезы, если требуется, чтобы их геометрия была представлена в конечноэлементной модели грузовых танков в соответствии с *табл. B.2.2*, должны исследоваться путем анализа с использованием мелкой сетки.

Таблица B.3.1

Критерии отбора анализа с использованием мелкой сетки для вырезов в главных несущих конструктивных элементах

Анализ конечных элементов с использованием мелкой сетки проводится, если:
$\lambda_y > 1{,}7$ (комбинация нагрузок S+D);
$\lambda_y > 1{,}36$ (комбинация нагрузок S).

где λ_y коэффициент запаса предела текучести

$$= 0{,}85 C_h \left(|\sigma_x + \sigma_y| + \left(2 + \left(\frac{l_0}{2 r_0} \right)^{0{,}74} + \left(\frac{h_0}{2 r_0} \right)^{0{,}74} \right) |\tau_{xy}| \right) \frac{k}{235}$$

$C_h = 1{,}0 - 0{,}23 \left(\frac{h_0}{h} \right) + 2{,}12 \left(\frac{h_0}{h} \right)^2$ для вырезов в вертикальной стенке и горизонтальной продольной балке бортовой балластной цистерны, флоре и продольной балке двойного дна и горизонтальной продольной балке поперечной переборки;

$= 1{,}0$ для выреза в стенке основной кницы и несущей конструкции (см. рисунки ниже);

r_0 радиус выреза, мм;

h_0 высота выреза, параллельная высоте стенки, мм;

l_0 длина выреза, параллельная направлению стенки балки, мм;

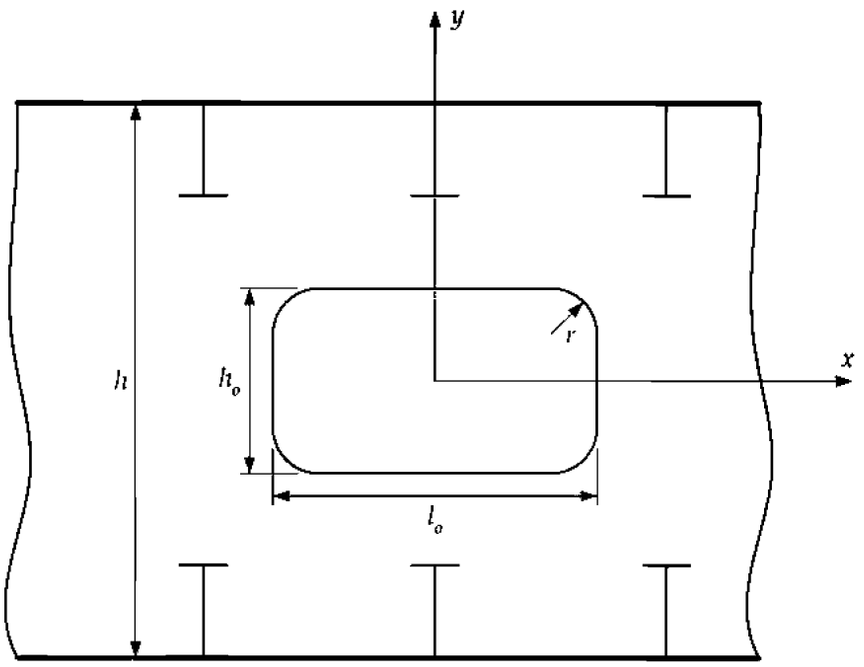
h высота стенки балки в районе выреза, мм;

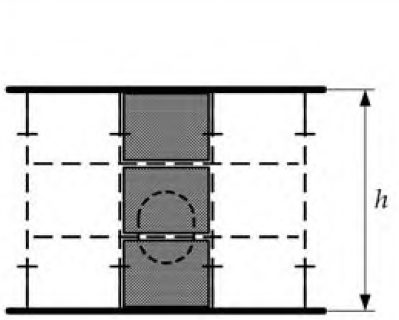
σ_x осевое напряжение в направлении x элемента, определенное путем конечноэлементного анализа грузового танка в соответствии с показанной системой координат, Н/мм^2;

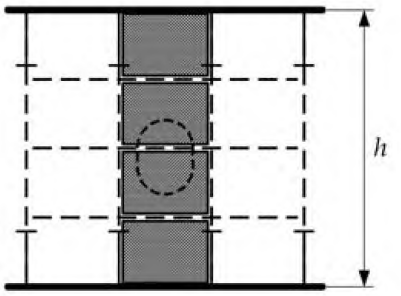
σ_y осевое напряжение в направлении y элемента, определенное путем конечноэлементного анализа грузового танка в соответствии с показанной системой координат, Н/мм^2;

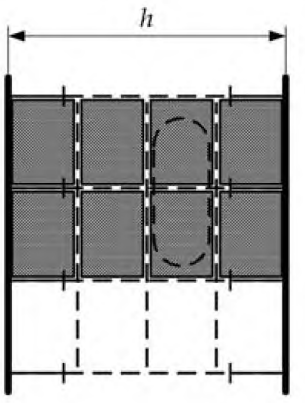
τ_{xy} срезывающее напряжение элемента, определенное путем конечноэлементного анализа грузового танка, Н/мм^2, [(2)];

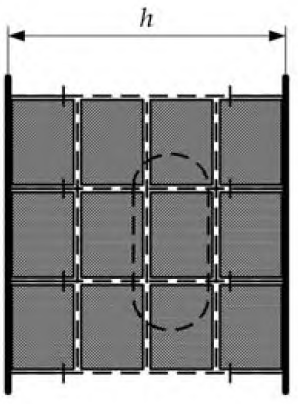
$к$ коэффициент стали повышенной прочности, как определено в разделе 6/1.1.4, который не должен приниматься менее 0,78 для комбинации нагрузок S+D.

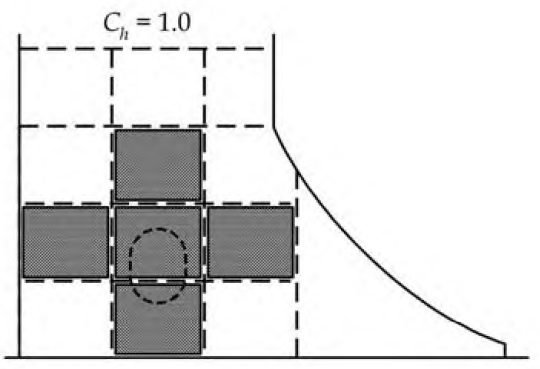












Отдельный элемент в стенке, подлежащий проверке по критериям

Примечания

1. Критерии отбора применимы только к вырезу, если не требуется, чтобы его геометрия была представлена в конечноэлементной модели грузового танка в соответствии с *табл. B.2.2*. Если требуется, чтобы геометрия выреза моделировалась в соответствии с *табл. B.2.2*, для определения уровня напряжений должен выполняться конечноэлемнтный анализ с использованием мелкой сетки.

2. Если моделированная толщина стенки в районе выреза уменьшается в соответствии с *табл. B.2.2*, срезывающее напряжение элемента должно быть откорректировано на отношение фактической эффективной толщины стенки (т.е. рассчитанной путем вычитания $0{,}5\,t_{corr}$ из толщины брутто) к моделированной редуцированной средней толщине (т.е. $t_{1\text{-}net50}$ или $t_{2\text{-}net5}0$, определенные в *табл. B.2.2*) до определения коэффициента использования предела текучести для проверки по критериям отбора.

3. Критерии отбора имеют силу только если конечноэлементный анализ грузовых танков и выявление напряжений элементов производятся в соответствии с *B/2*.

Таблица B.3.2

Критерии отбора анализа с использованием мелкой сетки для концов книц главных несущих конструктивных элементов

Анализ конечных элементов с использованием мелкой сетки проводится, если:
$\lambda_y > 1{,}5$ (комбинация нагрузок S+D);
$\lambda_y > 1{,}2$ (комбинация нагрузок S).

где λ_y коэффициент запаса предела текучести

$$= C_a \left(0{,}75 \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^{0{,}5} |\sigma_{vm}| + 0{,}55 \left(\frac{A_{bar-net50}}{b_1 t_{net50}} \right)^{05} |\sigma_{bar}| \right) \frac{k}{235};$$

$$C_a = 1{,}0 - 0{,}2 \left(\frac{R_a}{1400} \right)^2;$$

b_1, b_2 высота листового элемента в районе конца кницы и конечноэлементной модели грузового танка, мм;

$A_{bar\text{-}net50}$ площадь сечения пруткового элемента в конечноэлементной модели грузового танка, представляющей поясок кницы, мм^2;

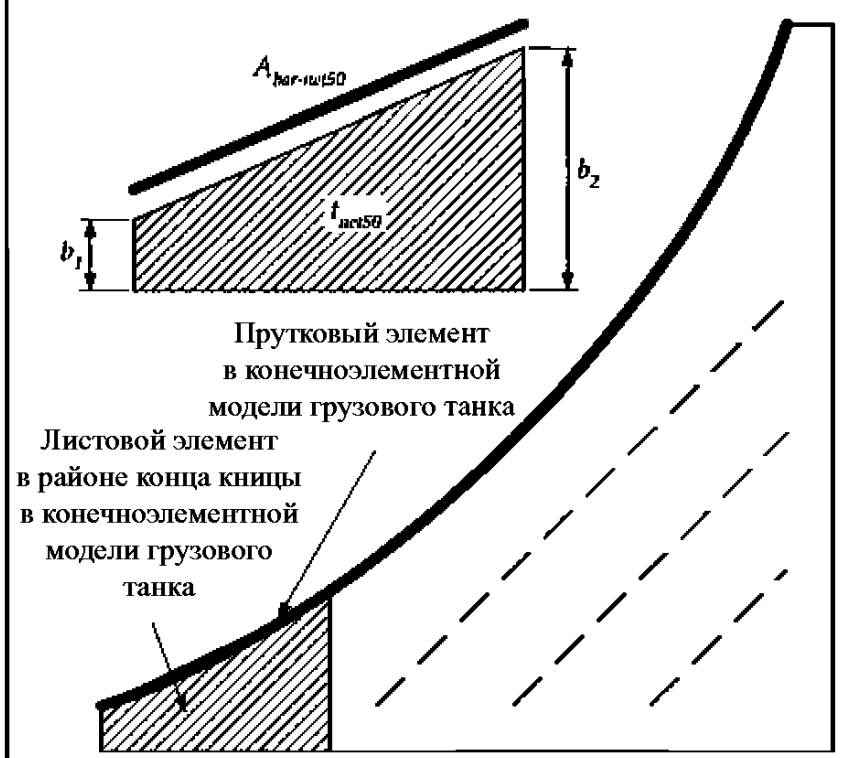
σ_{bar} осевое напряжение стержневого элемента, определенное на основании анализа методом конечных элементов грузового танка, Н/мм^2;

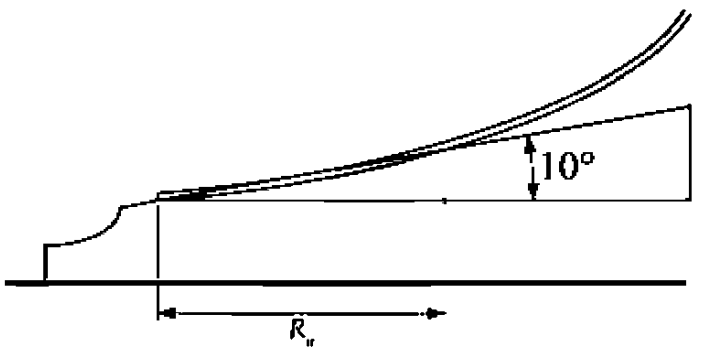
σ_{vm} напряжение Мизеса листового элемента в районе конца кницы, определенное путем анализа методом конечных элементов грузового танка, Н/мм^2;

$t_{net\text{-}50}$ толщина листового элемента в районе конца кницы, мм;

R_a длина полки, мм, не должна приниматься более 1400 мм;

$к$ коэффициент стали повышенной прочности, как определено в *разделе 6/1.1.4*, не должен приниматься менее 0,78 для комбинации нагрузок S+D.





Примечание
1. Критерии отбора действительны только тогда, когда анализ методом конечных элементов грузового танка и определение напряжений элемента выполнены в соответствии с *B/2*.

Таблица B.3.3

Критерии отбора анализа с использованием мелкой сетки для пяток горизонтальных стрингеров поперечной переборки

Анализ конечных элементов с использованием мелкой сетки проводится, если:
$\lambda_y > 1{,}5$ (комбинация нагрузок S+D);
$\lambda_y > 1{,}2$ (комбинация нагрузок S).

где λ_y коэффициент запаса предела текучести

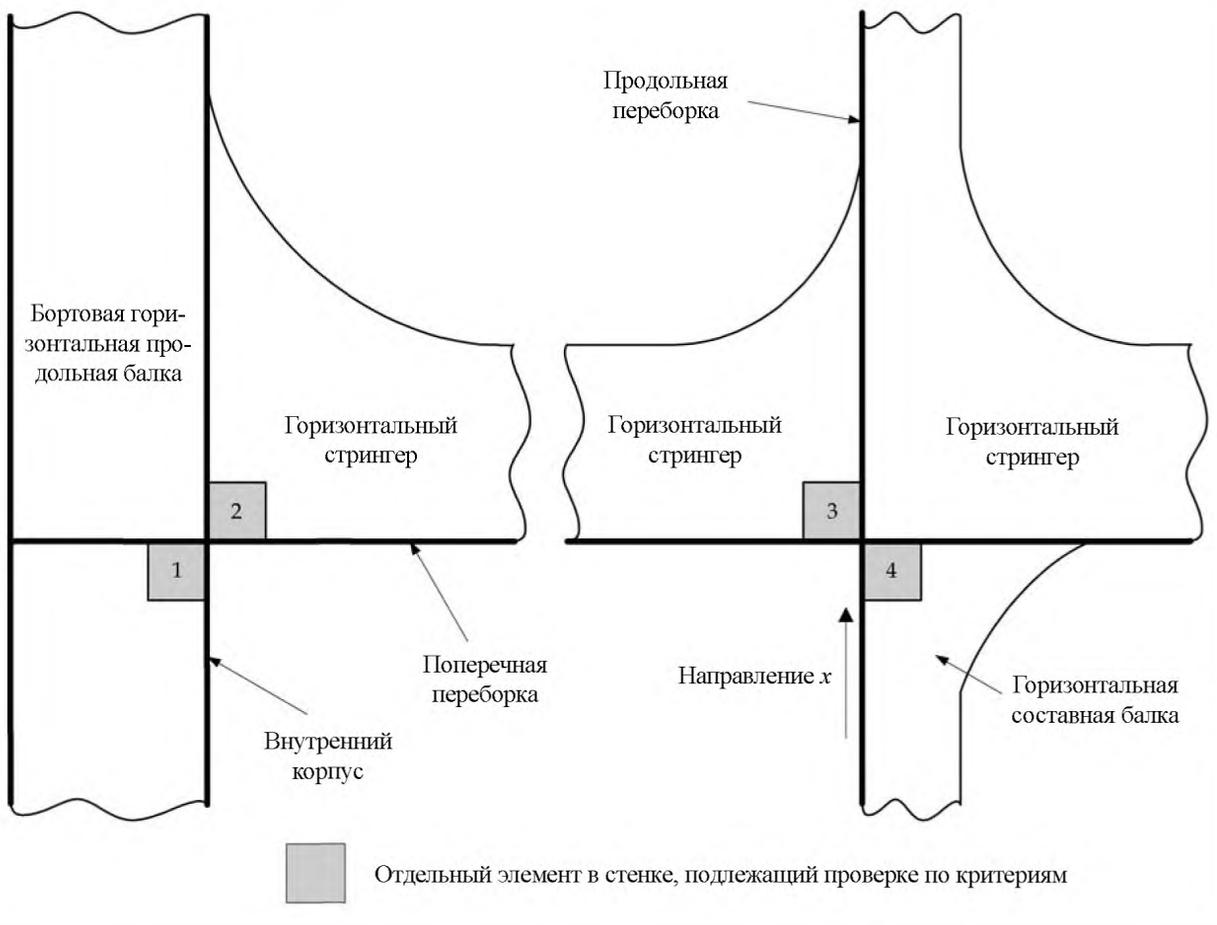
$= 3{,}0\,|\sigma_{vm}|\dfrac{k}{235}$ для пяток бортовой горизонтальной продольной балки и горизонтального стрингера поперечной переборки;

$= 5{,}2\,|\sigma_x|\dfrac{k}{235}$ для пяток горизонтального стрингера продольной переборки;

σ_x осевое напряжение в элементе в направлении *x*, определенное путем анализа методом конечных элементов грузового танка в соответствии с показанной системой координат, Н/мм^2;

σ_{vm} напряжение Мизеса листового элемента в районе окончания, определенное путем анализа методом конечных элементов грузового танка, Н/мм^2;

k коэффициент стали повышенной прочности , как определено в *разделе 6/1.1.4*, но он не должен приниматься менее 0,78 для комбинации нагрузок S+D.



Примечание
1. Критерии отбора действительны только тогда, когда анализ методом конечных элементов грузового танка и определение напряжений в элементе выполнены в соответствии с *B/2*.

3.2 Моделирование конструкции

3.2.1 Общие положения

3.2.1.1 Детальная оценка напряжений требует использования совершенной сетки конечных элементов в районе участков с высоким напряжением. Анализ с использованием мелкой сетки может выполняться с помощью отдельной локальной конечноэлементной модели с зонами мелкой сетки с учетом граничных условий, полученных из модели грузового танка. В качестве альтернативы, могут использоваться зоны мелкой сетки, включенные в модель грузового танка.

3.2.1.2 Протяженность местной конечноэлементной модели должна быть такой, чтобы рассчитанные напряжения в районах, представляющих интерес, не испытывали значительного влияния налагаемых граничных условий и приложения нагрузок. Граница модели с мелкой сеткой должна совпадать с главными несущими элементами, такими как балки, стрингеры и флоры в модели грузового танка.

3.2.1.3 Размер ячеек в зонах мелкой сетки не должен быть больше, чем 50 мм x 50 мм. Как правило, протяженность зоны мелкой сетки не должна быть менее 10 элементов во всех направлениях от исследуемого участка.

3.2.1.4 Вся обшивка в пределах зоны мелкой сетки должна представляться оболочечными элементами. Должен обеспечиваться плавный переход плотности сетки. Коэффициент относительного удлинения элементов в пределах зоны мелкой сетки должен быть как можно ближе к 1. Изменение плотности сетки в пределах зоны мелкой сетки и использование треугольных элементов должно исключаться. Во всех случаях, элементы должны иметь относительное удлинение не более 3. Деформированные элементы с углом загиба менее, чем 60° или более, чем 120° не должны допускаться. Ребра жесткости внутри зоны мелкой сетки должны моделироваться с использованием оболочечных элементов. Ребра жесткости вне зон мелкой сетки могут моделироваться с использованием балочных элементов.

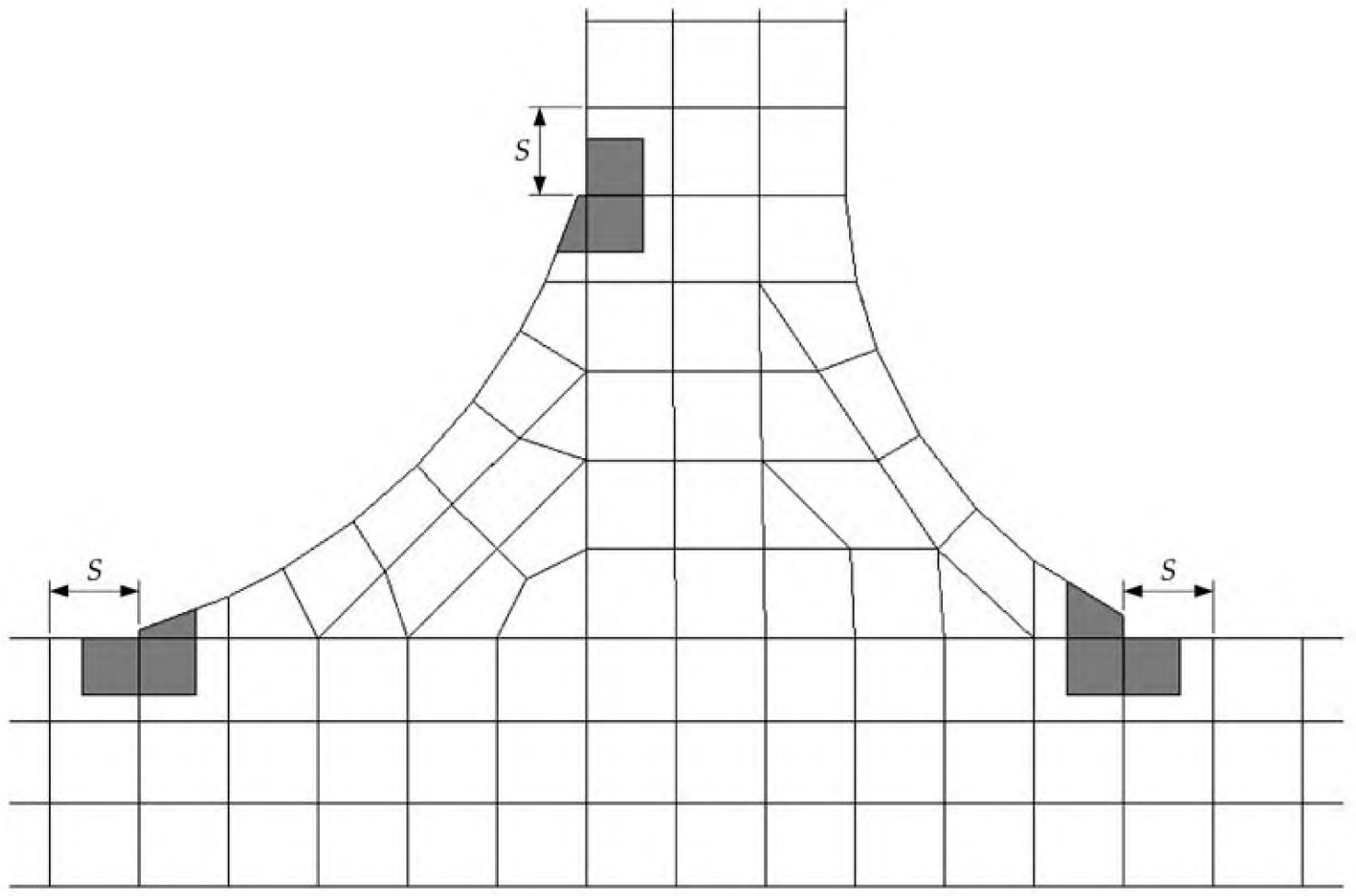
3.2.1.5 Элемент внутри зоны мелкой сетки должен моделироваться с учетом толщины нетто, полученной путем вычитания полной надбавки на коррозию, tcorr, из общей толщины. Конструкция вне зоны мелкой сетки должна моделироваться с учетом толщины нетто, полученной путем вычитания половины надбавки на коррозию , 0,5 t_{corr}, из полной толщины, как указано в *2.2.15*, для использования конечноэлементном анализе грузового танка.

3.2.1.6 Если анализ с использованием мелкой сетки требуется для концевых соединений основной кницы, зона мелкой сетки должна быть протянута на не менее, чем на 10 элементов во всех направлениях от участка, представляющего интерес, см. *рис. В.3.5*. Размеры при моделировании в зоне мелкой сетки должны соответствовать требованиям *3.2.1.5*.

3.2.1.7 Если анализ с использованием мелкой сетки требуется для выреза, первые два слоя элементов вокруг выреза должны моделироваться с использованием сетки с размером ячеек не более 50 мм × 50 мм, основываясь на толщине нетто за вычетом полной надбавки на коррозию, t_{corr}. Элементы вне первых двух слоев должны основываться на толщине нетто за вычетом надбавки на коррозию 0,5 t_{corr}, см. *3.2.1.5*. Должен быть обеспечен плавный переход от мелкой сетки к сетке с более крупным шагом. Кромочные ребра жесткости, которые привариваются непосредственно к кромке выреза, должны моделироваться листовыми элементами. Ребра для подкрепления стенки балки вблизи выреза могут моделироваться с помощью прутковых или балочных элементов, расположенных на расстоянии не менее 50 мм от кромки выреза. Типичная зона мелкой сетки вокруг выреза показана на рис. В.3.6.

3.2.1.8 Свободные пояски вырезов, главные несущие элементы и соответствующие кницы должны моделироваться с помощью не менее, чем трех элементов по их ширине.

Рис. В.3.5
Зона мелкой сетки вокруг концов кницы



Зона мелкой сетки.
Размер элемента ≤ 50 мм × 50 мм.
Протяженность – не менее 10 элементов во всех направлениях.
Поясок моделируется листовыми элементами.

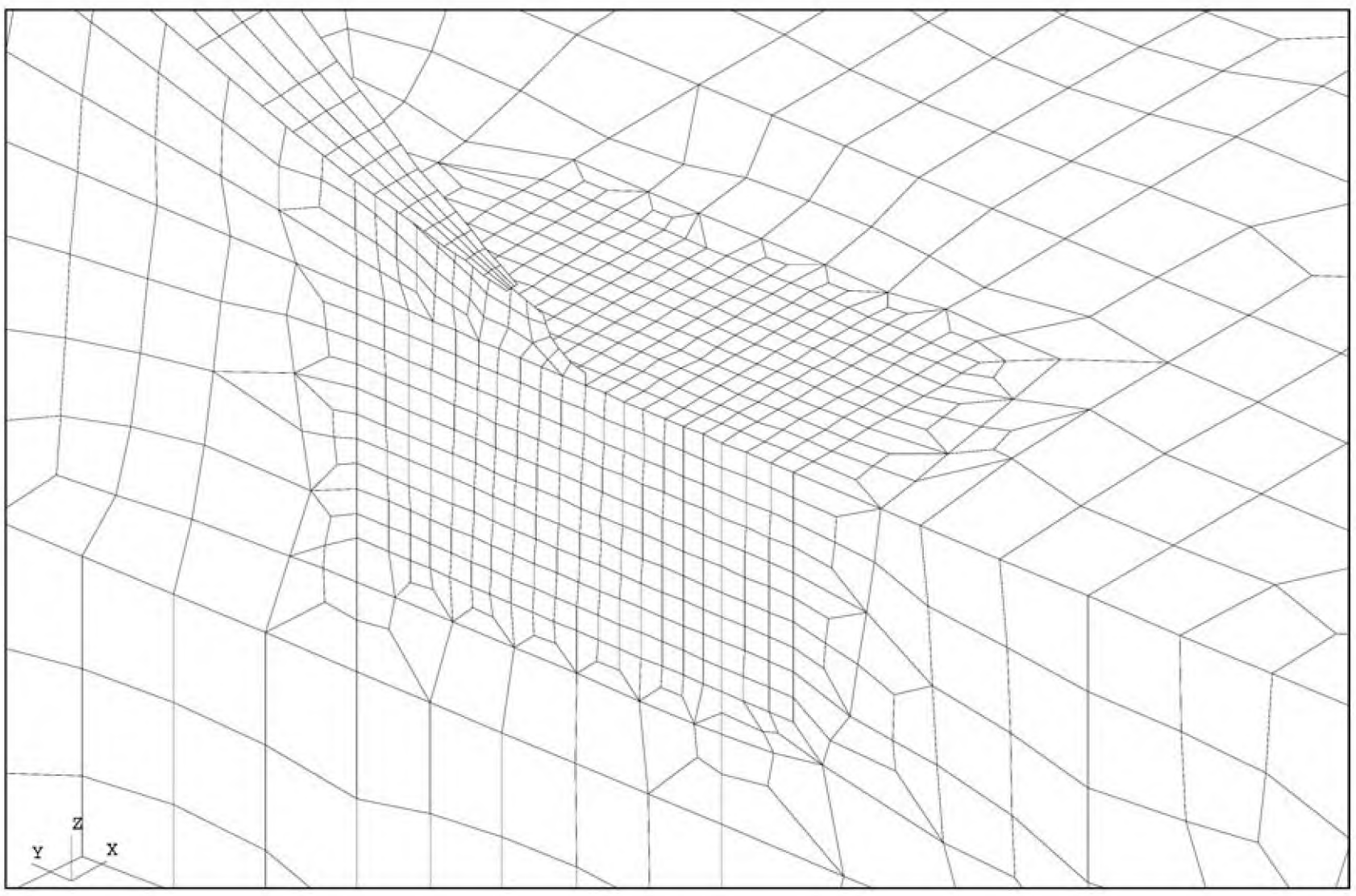
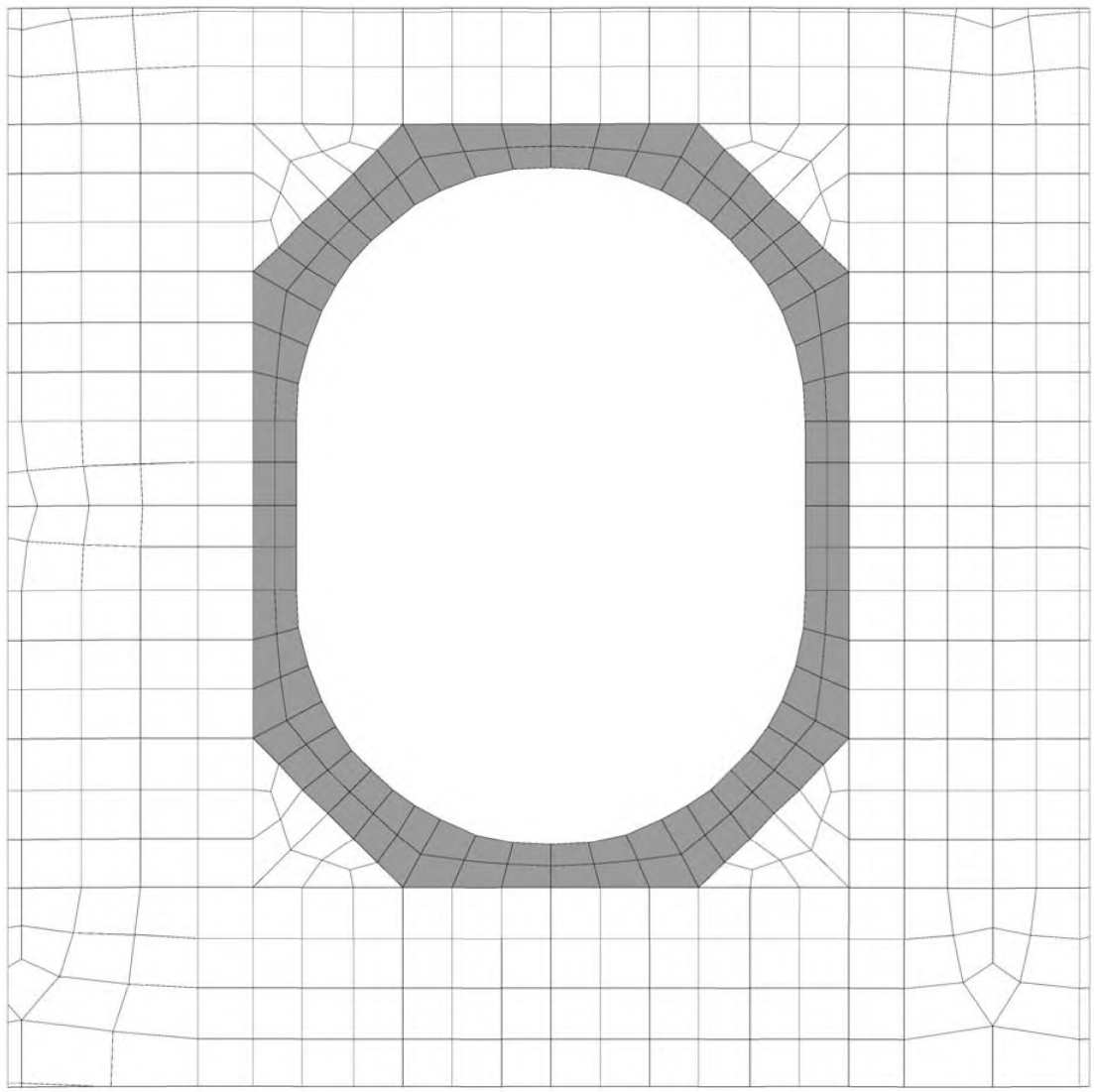


Рис. B.3.6
Зона мелкой сетки вокруг выреза



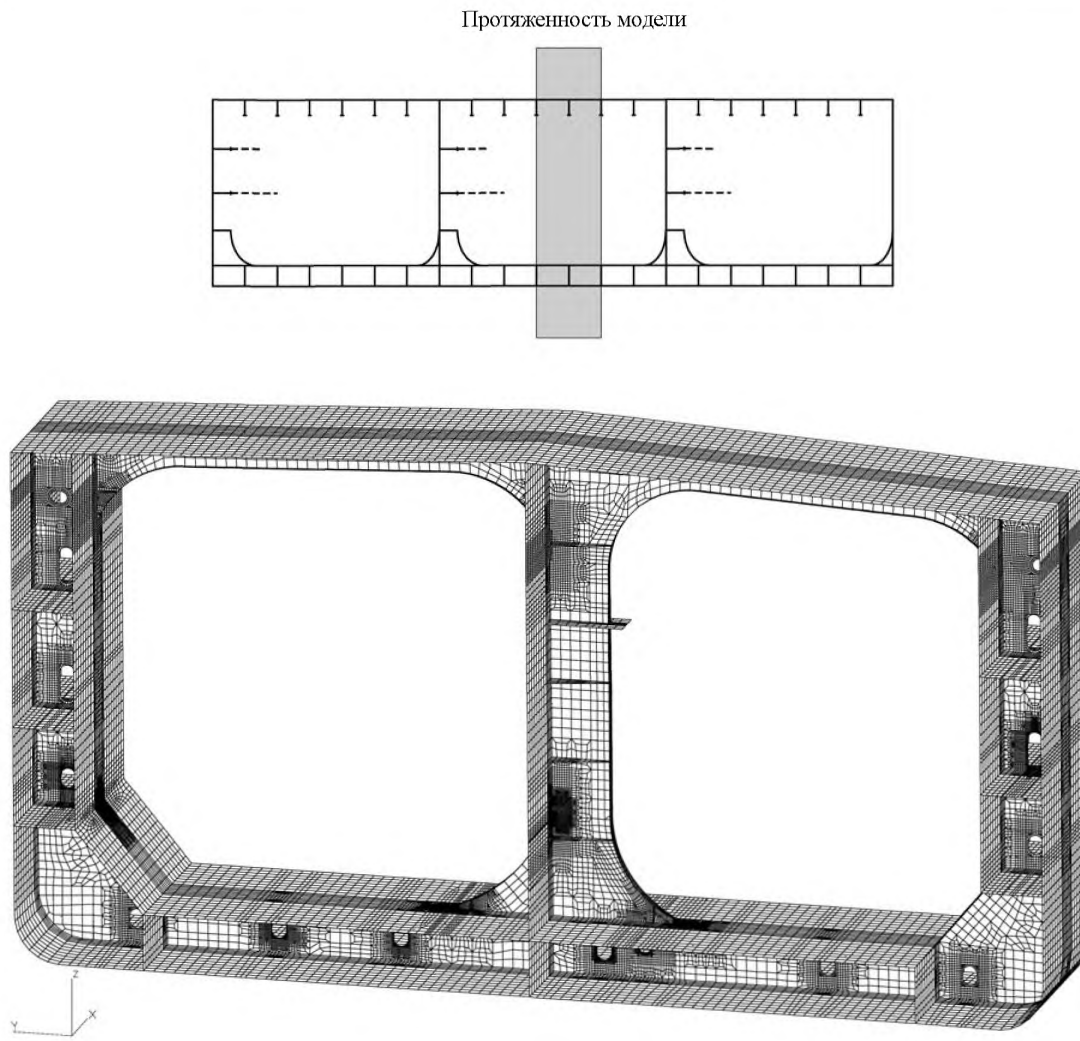
3.2.2 Рамные шпангоуты

3.2.2.1 В дополнение к требованиям, изложенным в *3.2.1*, требования к моделированию в данном подразделе могут применяться к анализу типичного рамного шпангоута.

3.2.2.2 Если используется конечноэлементная подмодель, модель должна иметь протяженность не менее 1 + 1 шпаций рамных шпангоутов, т.е. одной шпации рамных шпангоутов, простирающейся в любую сторону от рассматриваемого рамного шпангоута. Рамные шпангоуты, расположенные в нос и корму от рассматриваемого рамного шпангоута, могут не включаться в подмодель.

3.2.2.3 Полная высота борта и полная ширина судна должны моделироваться, см. *рис. B.3.7*.

Рис. B.3.7
Протяженность подмодели для анализа с использованием мелкой сетки соединений книц рамных шпангоутов и вырезов



3.2.2.4 На *рис. B.3.8* показан вид крупным планом конечноэлементной сетки в нижней части вертикальных рамных балок и подкрепляющих книц.

3.2.3 Стрингеры, опорные конструкции поперечных переборок и примыкающие рамные шпангоуты

3.2.3.1 В дополнение к изложенному в *3.2.1*, требования к моделированию в данном подразделе могут применяться к анализу поперечной переборки и примыкающему рамному шпангоуту, как описано в *3.1.3*.

3.2.3.2 По причине конструктивного взаимодействия между поперечной переборкой, горизонтальными стрингерами, рамными шпангоутами, палубой и днищем рекомендуется, чтобы конечноэлементная подмодель представляла все сечение корпуса. В продольном направлении концы модели должны, по меньшей мере, простираться на одну шпацию рамных шпангоутов за участки, которые требуют исследования, см. *рис. B.3.9*. Должны моделироваться полная высота борта и ширина судна.

Рис. B.3.8
Вид крупным планом конечноэлементной сетки
в нижней части вертикальной рамной балки и подкрепляющих книц

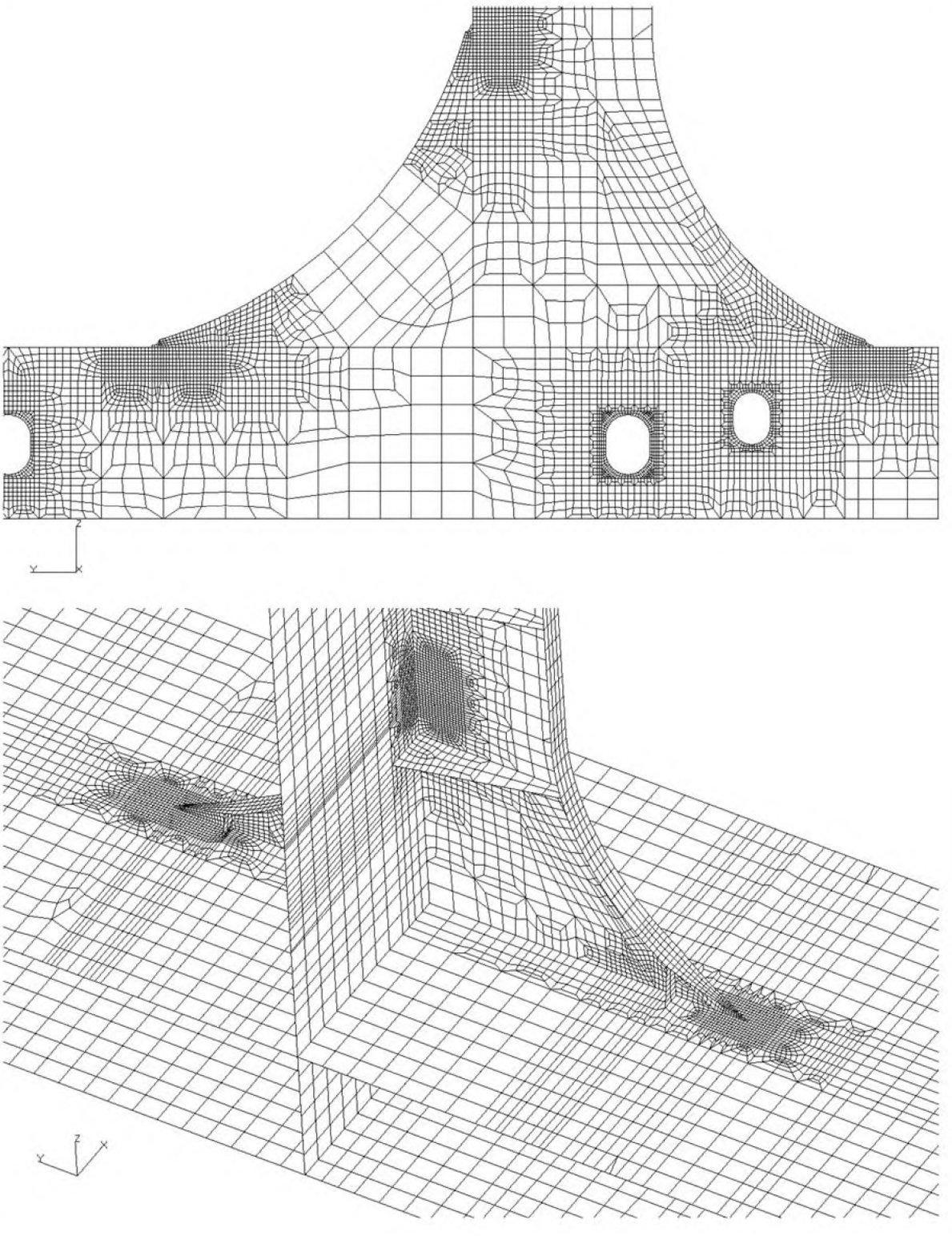
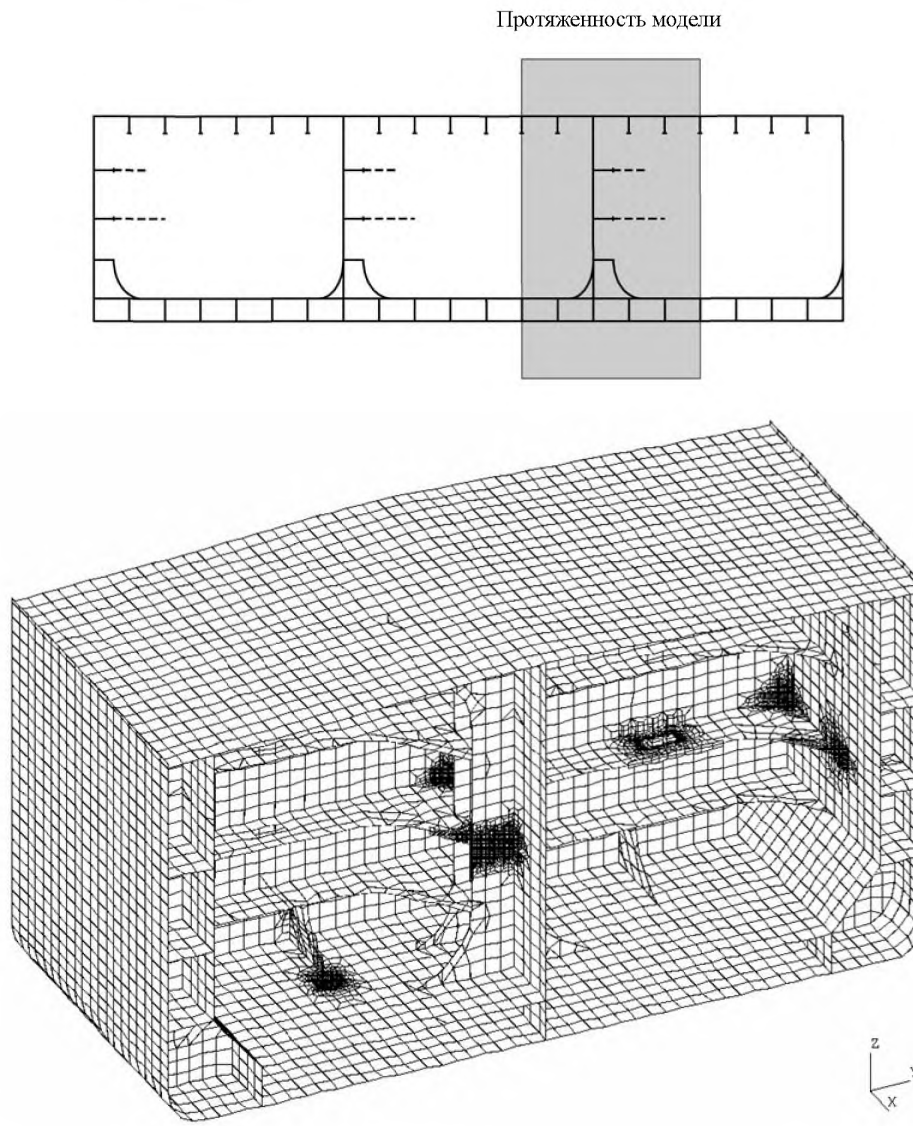


Рис. В.3.9
Протяженность подмодели для анализа с использованием мелкой сетки поперечной переборки и примыкающей конструкции



3.2.3.3 В качестве альтернативы, допускается использовать ряд подмоделей, как показано на *рис. В.3.10*, для анализа различных частей конструкции. Для анализа горизонтальных стрингеров поперечных переборок следует смоделировать полную ширину судна. Для анализа опорной конструкции ширина подмодели должна быть равна, по меньшей мере, 4 + 4 продольным шпациям, т.е. четырем продольным шпациям с каждой стороны опорной конструкции.

3.2.3.4 На *рис. В.3.11* показана конечноэлементная сетка на горизонтальном стрингере поперечной переборки. На *рис. В.3.12* показана подмодель для анализа соединений опорной конструкции с поперечной переборкой и конструкцией двойного дна, а также выреза.

Рис. B.3.10
Анализ конструкции поперечной переборки с использованием подмодели

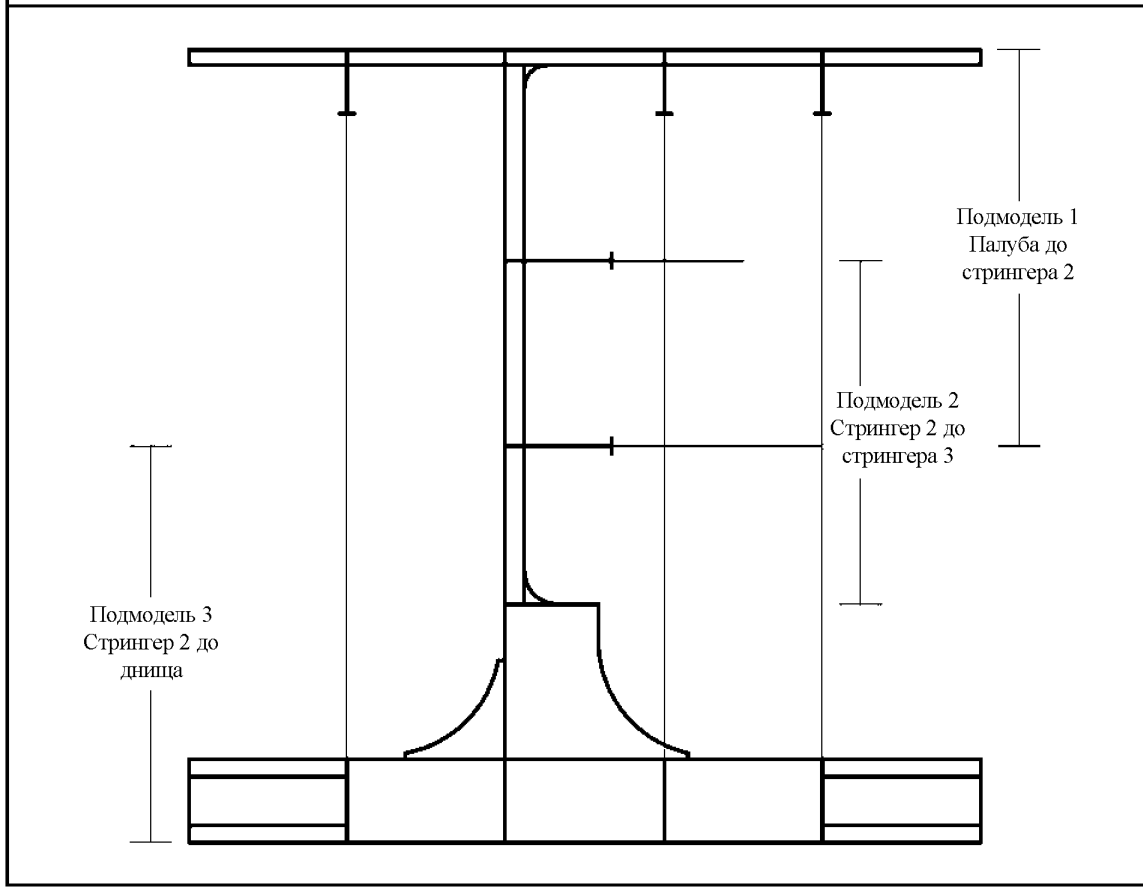


Рис. В.3.11
Сетка с малым шагом на горизонтальной продольной балке поперечной переборки (на рисунке показана модель с левого борта)

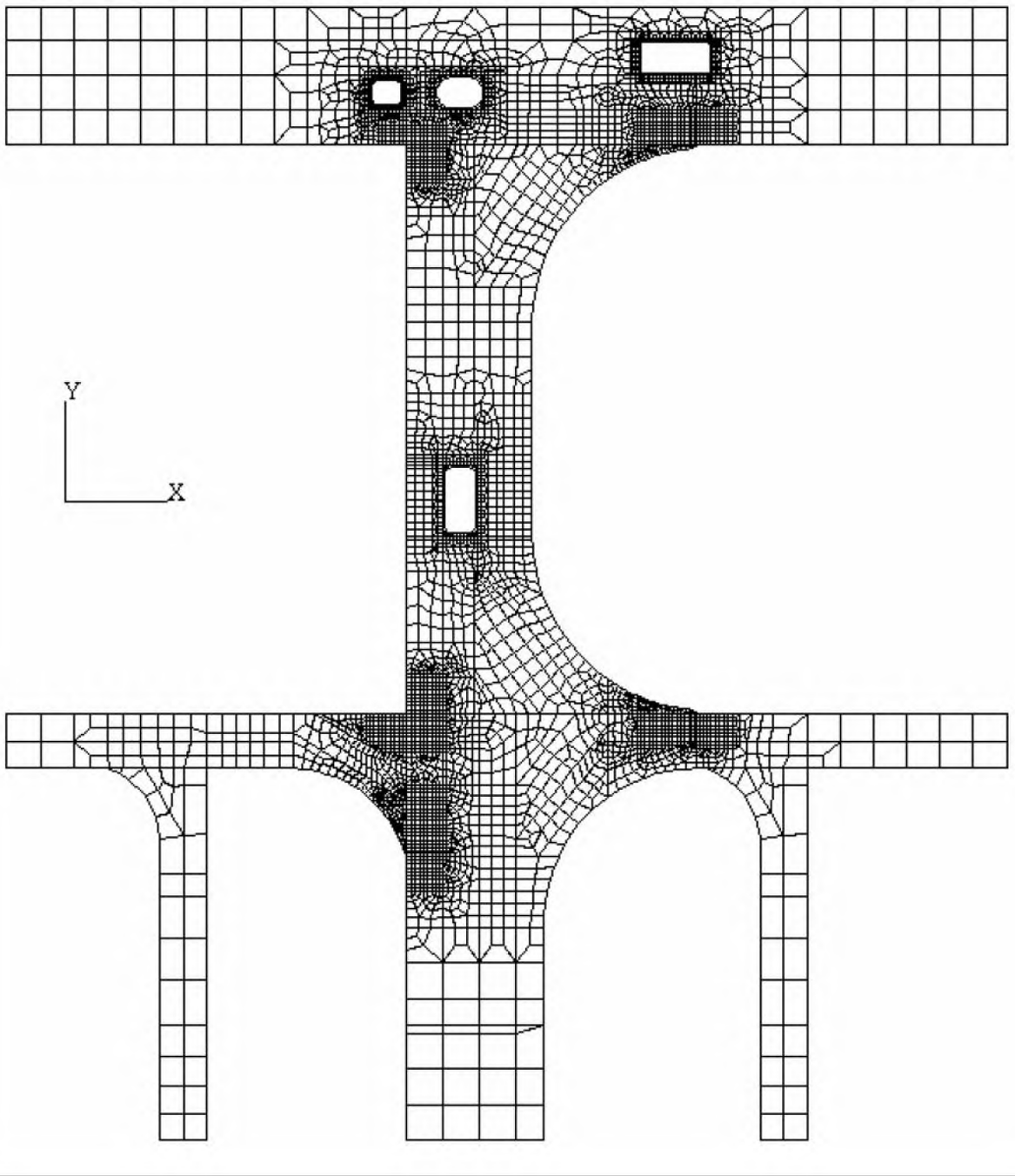
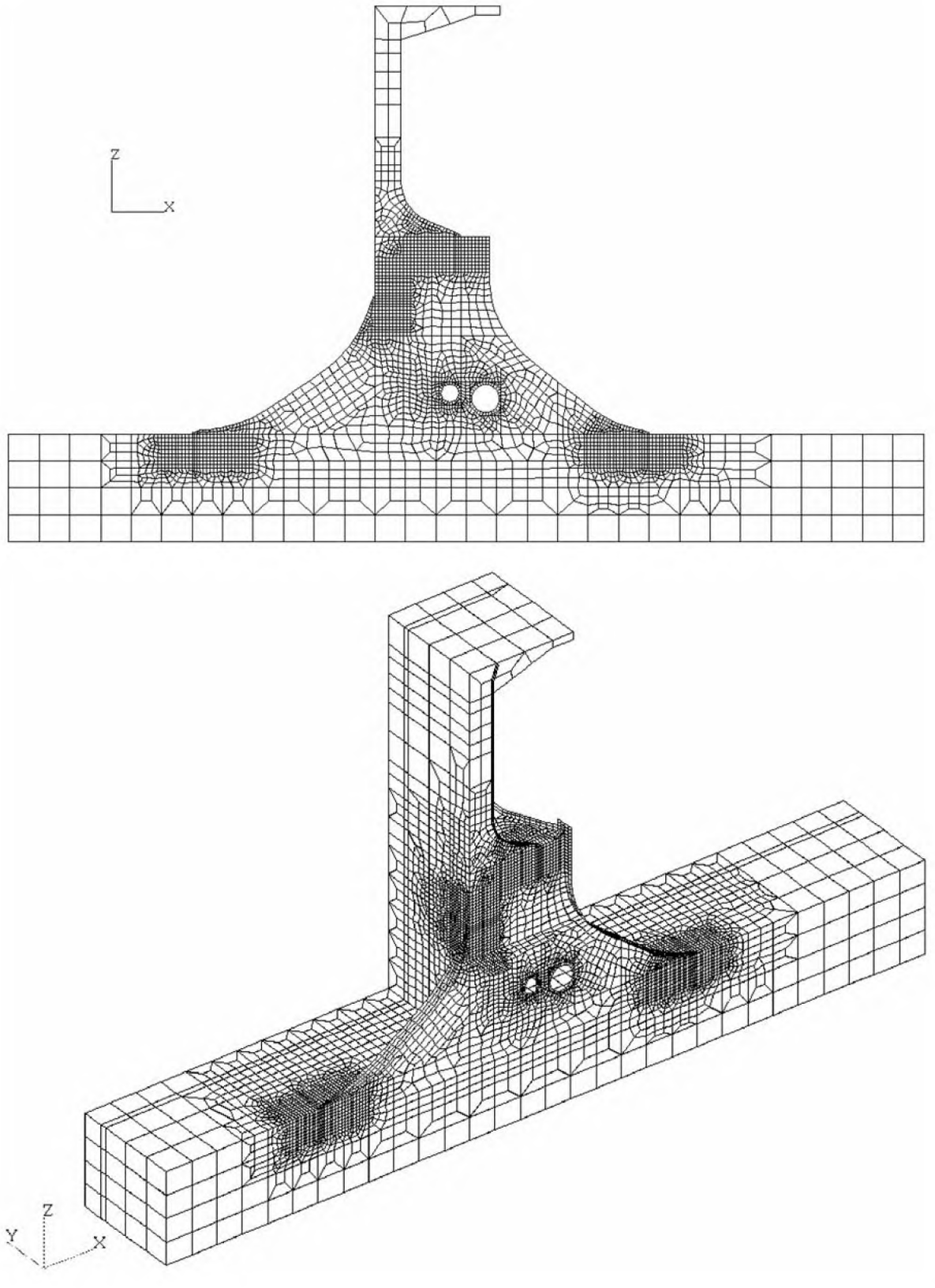


Рис. В.3.12
Подмодель для анализа соединений несущей конструкции с конструкцией переборки и двойного дна (модель показана с левого борта)



3.2.4 Продольные ребра жесткости палубы и двойного дна и примыкающие вертикальные ребра жесткости поперечной переборки

3.2.4.1 Требования к моделированию в этом подразделе могут специально применяться к анализу концевых соединений продольных и вертикальных ребер жесткости и имеющихся подкреплений стенки, как описано в *3.1.4*.

3.2.4.2 Если используется местная конечноэлементная модель, каждый конец модели должен простираться, по меньшей мере, на две шпации рамных шпангоутов от рассматриваемых участков. Ширина модели должна составлять, по меньшей мере, 2 + 2 продольные шпации. На *рис. В.3.13* показана протяженность в продольном направлении подмодели для анализа продольных ребер жесткости палубы и двойного дна и примыкающего вертикального ребра жесткости поперечной переборки.

3.2.4.3 Предписанные перемещения и усилия, полученные с помощью конечноэлементной модели грузового танка, должны применяться ко всем граничным узлам, которые совпадают с моделью грузового танка.

3.2.4.4 Рассматриваемые продольные и вертикальные ребра жесткости, включая стенку, поясок, имеющуюся обшивку (в пределах ½ + ½ продольных шпаций) и соответствующие кницы должны моделироваться с учетом полной толщины за вычетом полной надбавки на коррозию t_{corr}. Другие участки должны основываться на толщине брутто за вычетом половины надбавки на коррозию $0{,}5\,t_{corr}$.

3.2.4.5 Стенка продольных ребер жесткости должна быть представлена, по меньшей мере, 3 оболочечными элементами по высоте. Элементы подобного размера должны использоваться для представления обшивки днища и внутреннего дна. Свободный поясок продольных ребер жесткости и книц должен моделироваться с помощью, как минимум, трех элементов по ширине.

3.2.4.6. Размер сетки и протяженность зоны мелкой сетки должны соответствовать *3.2.1.3*, см. также *рис. В.3.13*.

3.2.5 Гофрированные переборки

3.2.5.1 В дополнение к *3.2.1*, требования к моделированию в данном подразделе относятся к анализу соединений гофрированных переборок с нижними трапециидальными опорами переборок, как описано в *3.1.5*.

3.2.5.2 Минимальная протяженность подмодели указана ниже, см. также *рис. В.3.14*:

а) в вертикальном направлении, от основания нижней опоры переборки до уровня, находящегося, по меньшей мере, на 2 м над соединением гофрированной переборки с верхней частью опоры переборки. Верхняя граница подмодели должна совпадать с горизонтальной линией сетки конечноэлементной модели грузового танка;

б) для поперечных гофрированных переборок подмодель должна простираться в поперечном направлении до ближайшей стенки диафрагмы в нижней опоре с каждой стороны зоны мелкой сетки (т.е. подмодель распространяется на два поперечных расстояния между стенками диафрагмы опоры переборки). Концевые диафрагмы могут не моделироваться;

в) для продольных гофрированных переборок подмодель должна простираться до ближайшего рамного шпангоута с каждой стороны мелкой сетки (т.е. подмодель распространяется на две шпангоутные шпации). Концевые рамные шпангоуты могут не моделироваться;

г) если рассматриваемый участок расположен вблизи пересечения поперечных и продольных гофрированных переборок, подмодель должна распространяться на конструкцию между диафрагмами (в поперечном направлении) и рамными шпангоутами (в продольном направлении), ближайшими к деталям конструкции, к которым это применимо. Кроме того, подмодель должна простираться, по меньшей мере, на одну диафрагму/рамный шпангоут, за пределами пересечения трапециидальных опор.

Рис. B.3.13
Подмодель для анализа с использованием мелкой сетки концевых соединений и подкреплений стенки подпалубных продольных балок и продольных балок двойного дна

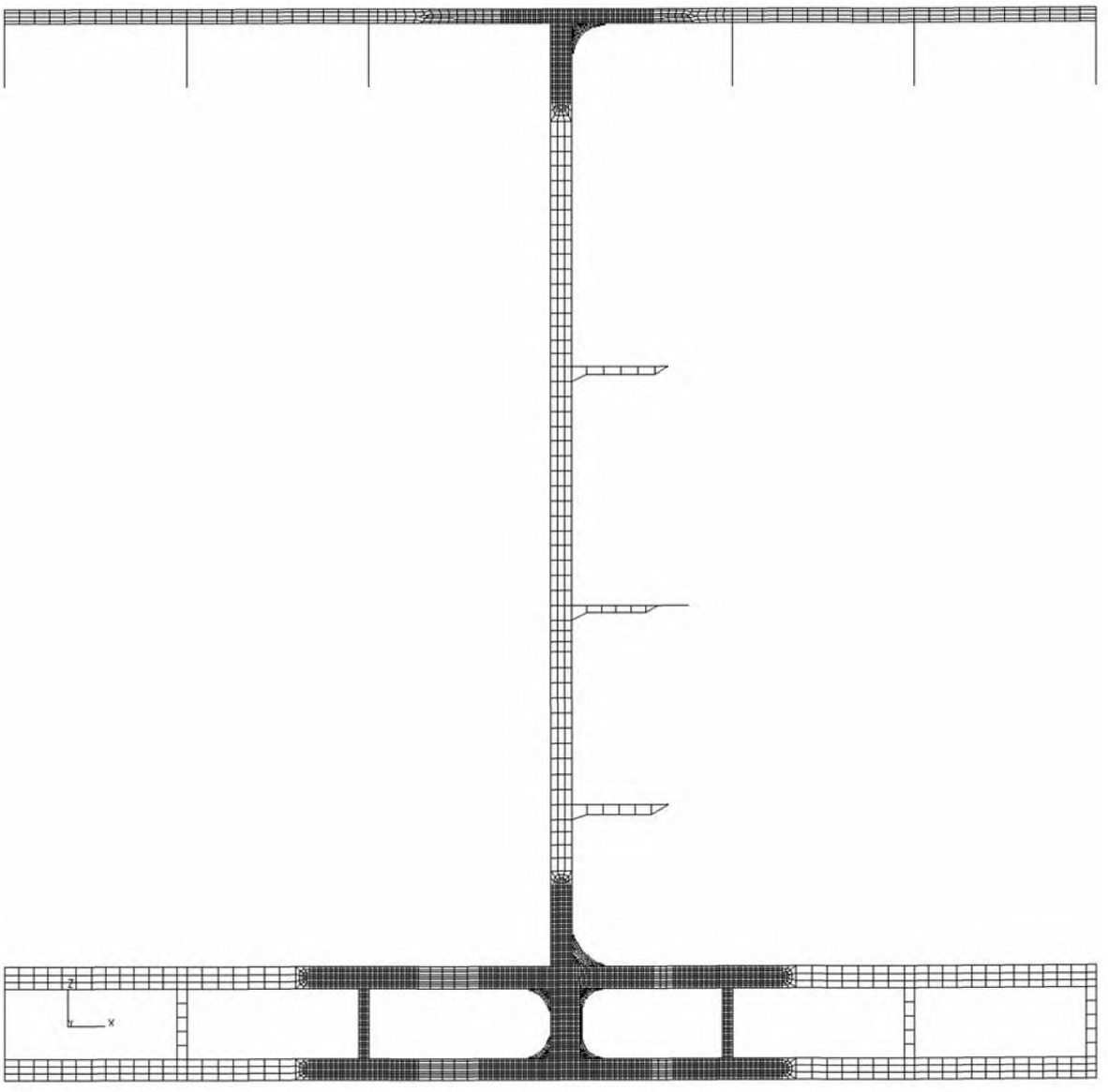
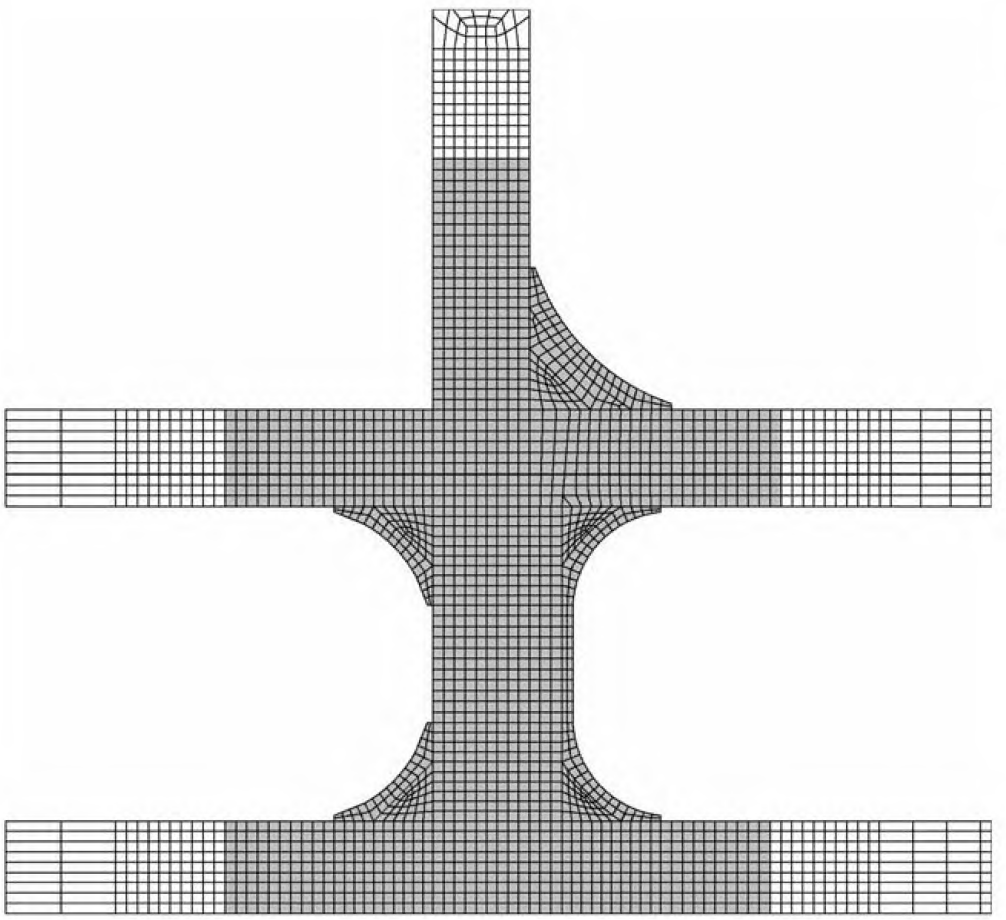


Рис. В.3.13 (продолжение)
Подмодель для анализа с использованием мелкой сетки концевых соединений и подкреплений стенки подпалубных продольных балок и продольных балок двойного дна



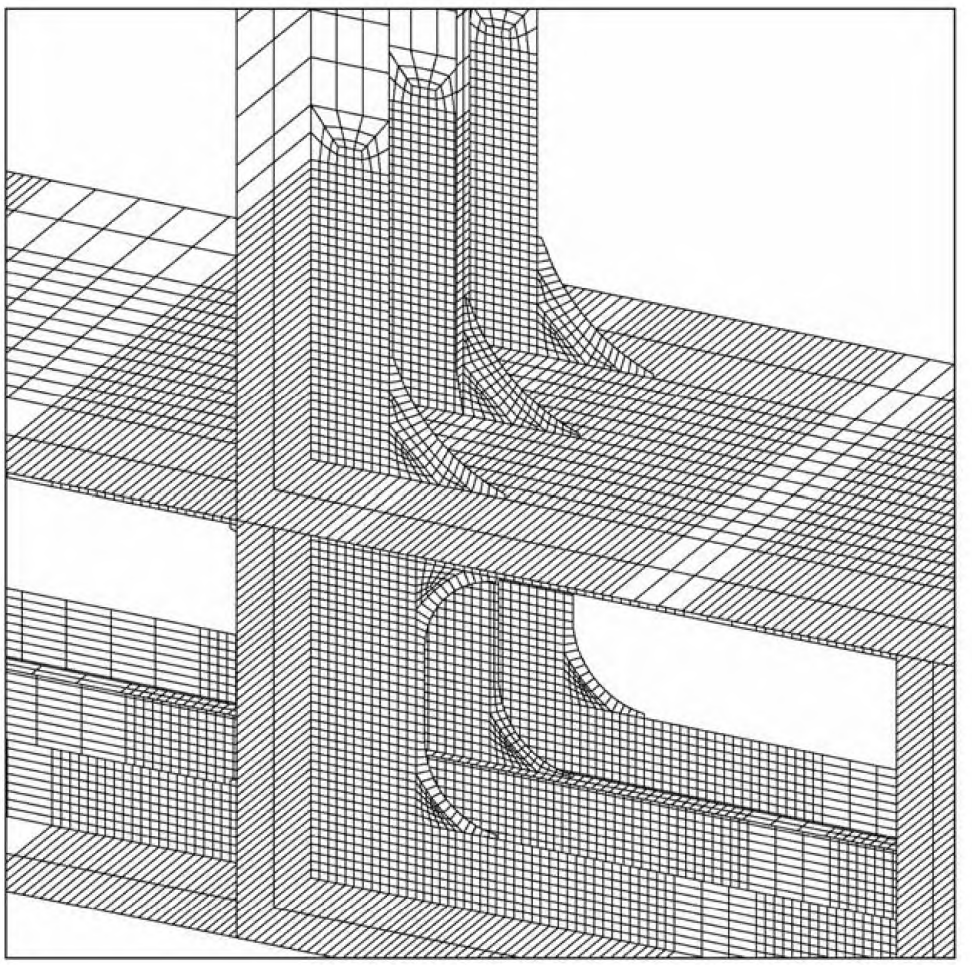
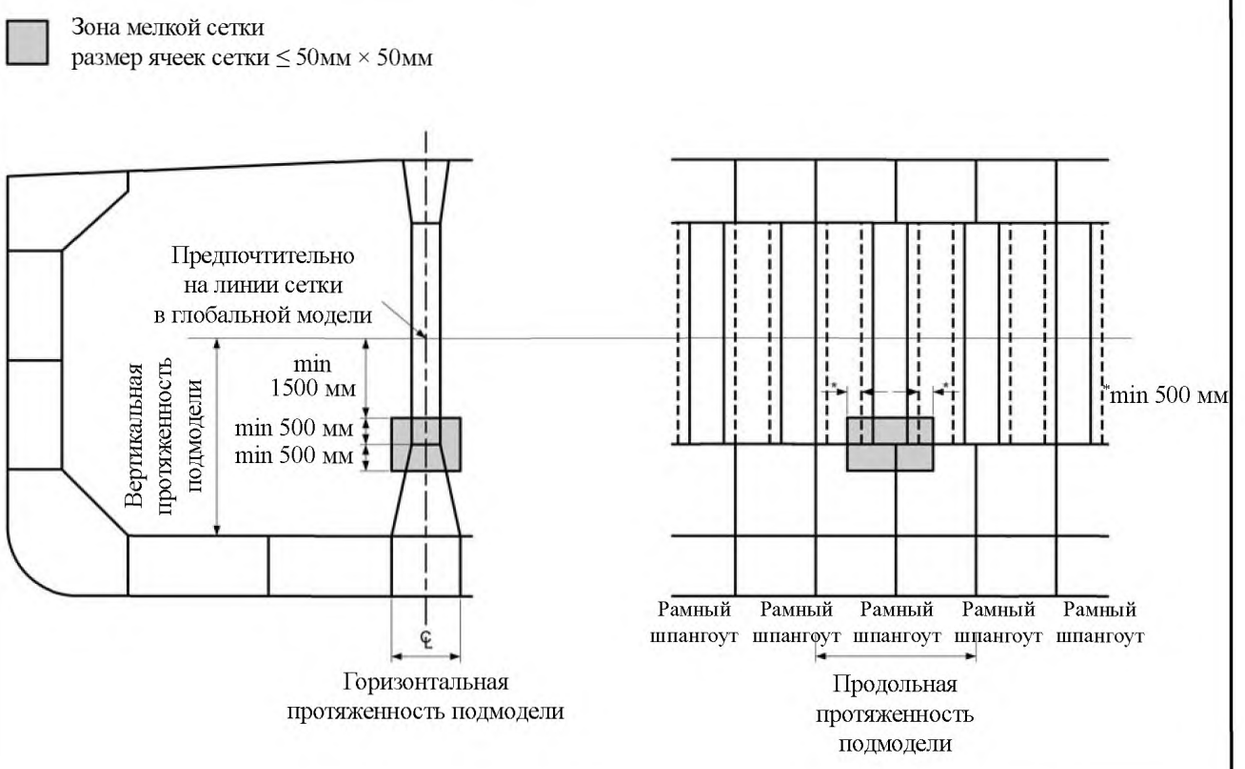


Рис. B.3.14
Протяженность подмодели и зоны мелкой сетки
для анализа соединения гофрированной переборки с нижней трапециидальной опорой



Примечание
На вышеприведенных рисунках показана протяженность подмодели и зоны мелкой сетки на соединении продольной гофрированной переборки с нижней трапециидальной опорой. Аналогичная протяженность относится к поперечной гофрированной переборке.

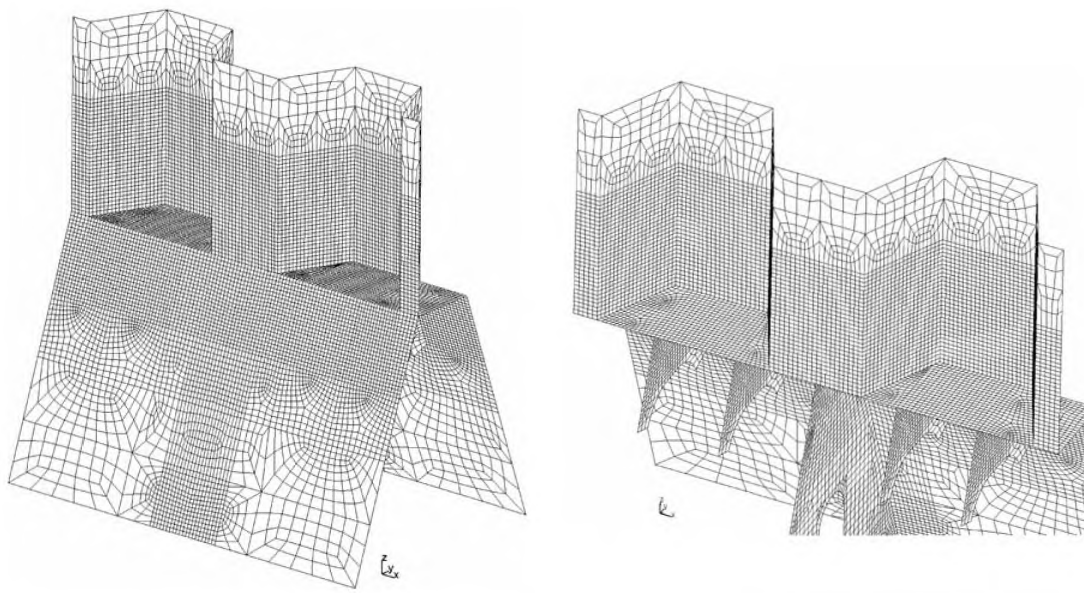
3.2.5.3 Зона мелкой сетки должна простираться , по меньшей мере, на 500 мм (10 элементов) от соединения гофра в вертикальном направлении, см. *рис. B.3.14*. В горизонтальном направлении, зона мелкой сетки должна охватывать, по меньшей мере, поясок рассматриваемого гофра, стенки соседних гофров и дополнительно простираться на 500 мм от каждого конца стенки гофра (т.е. зона мелкой сетки охватывает четыре излома гофра), см. *рис. B.3.14*. Размер ячеек сетки в пределах зоны мелкой сетки не должен быть больше, чем 50 мм × 50 мм.

3.2.5.4 Стенки диафрагм, кницы внутри нижней опоры и вертикальные ребра жесткости на боковых стенках опор должны моделироваться в их фактических положениях в пределах протяженности подмодели. Оболочечные элементы могут использоваться для представления фланца ребер жесткости и книц.

3.2.5.5 Горизонтальные ребра жесткости на боковой стенке нижней трапециидальной опоры должны представляться балочными элементами.

3.2.5.6 На *рис. B.3.15* показана конечноэлементная подмодель для анализа с использованием мелкой сетки соединения продольной переборки с нижней трапециидальной опорой.

Рис. B.3.15
Подмодель для анализа соединения продольной гофрированной переборки с нижней трапециидальной опорой



3.3 Случаи нагрузки

3.3.1 Анализ напряжений

3.3.1.1 Детальный анализ напряжений с использованием мелкой сетки должен выполняться для стандартных случаев нагрузки, указанных в *2.3.1*, и любых других случаев нагрузки, специально рассматриваемых в соответствии с требованиями *раздела 9/2.2.3*.

3.4 Приложение нагрузок и граничные условия

3.4.1 Общие положения

3.4.1.1 Если для детального анализа напряжений с использованием мелкой сетки используется отдельная локальная конечноэлементная модель, узловые перемещения от модели грузового танка должны прикладываться к соответствующим граничным узлам на местной модели, как предписанные перемещения. В качестве альтернативы, равноценные узловые усилия с модели грузового танка могут прикладываться к граничным узлам.

3.4.1.2 Если на границах местной модели имеются узлы, которые не совпадают с узловыми точками на модели грузового танка, допустимо наложить эти предписанные перемещения на эти узлы с использованием многоточечной заделки. Использование линейных уравнений многоточечной заделки, соединяющих два соседних совпадающих узла, считается достаточным.

3.4.1.3 Все местные нагрузки, включая любые вертикальные нагрузки, прилагаемые для корректировки срезывающих усилий эквивалентного бруса, в районе конструкции, представленной отдельной локальной конечноэлементной моделью, должны прилагаться к модели.

3.5 Оценка результатов и критерии приемлемости

3.5.1 Оценка напряжений

3.5.1.1 Оценка напряжений при анализе с использованием мелкой сетки должна выполняться для случаев нагрузки, указанных в 3.3.1.

3.5.1.2 Напряжение Мизеса, σ_{vm}, должно рассчитываться, основываясь на мембранных прямых осевых и срезывающих напряжениях листового элемента, определенных в центре тяжести элемента. Если используются оболочечные элементы, напряжения должны определяться в средней плоскости элемента.

3.5.1.3 Результирующие напряжения Мизеса не должны превышать допустимые мембранные напряжения, указанные в *разделе 9/2.3.5*.

3.5.1.4 Максимальные допустимые напряжения основываются на размере ячеек сетки 50 мм × 50 мм, как указано в *3.2.1*. Если используется меньший размер сетки, среднее напряжение Мизеса, рассчитанное на площади, равной установленному размеру ячеек сетки, может использоваться для сравнения с допустимыми напряжениями. Усреднение должно основываться только на элементах со всей их границей, расположенной в пределах желательной площади. Среднее напряжение должно рассчитываться, основываясь на напряжениях в центре тяжести элементов; значения напряжений, полученные путем интерполяции и/или экстраполяции, не должны использоваться. Усреднение напряжений не должно производиться в разрывах конструкции и примыкающей конструкции.

4 Оценка напряжений в жестких точках для анализа усталости

4.1 Область применения

4.1.1 Общие положения

4.1.1.1 В настоящем разделе описывается методика выполнения анализа методом конечных элементов с использованием мелких сеток для оценки геометрии напряжений в жестких точках для использования в определении коэффициента усталости при повреждении в соответствии с *приложением С/2*.

4.1.1.2 Места, где должна производиться оценка усталости. основывающаяся на анализе методом конечных элементов, указаны в *разделе 9/3.3*.

4.2 Моделирование конструкций

4.2.1 Общие положения

4.2.1.1 Определение точек напряжений в жестких точках для оценки усталости требует использования конечноэлементных сеток с очень малым шагом в районе участков с высокой концентрацией напряжений. Этот анализ с использованием мелкой сетки может выполняться с помощью отдельных местных конечноэлементных моделей с зонами мелкой сетки с учетом граничных условий, полученных на модели грузового танка. В качестве альтернативы, могут использоваться зоны мелкой сетки, включенные в модель грузового танка.

4.2.1.2 Все элементы конструкции в пределах протяженности, по меньшей мере, 500 мм во всех направлениях, ведущих до положения жесткой точки усталости, должны моделироваться, основываясь на толщине нетто, полученной в результате вычитания половины надбавки на коррозию (т.е. $0{,}5\,t_{corr}$) из полной толщины.

4.2.1.3 Конечноэлементная модель грузового танка для оценки усталости должна строиться в соответствии с *2.2*, но основываться на толщине нетто, полученной путем вычитания четверти надбавки на коррозию (т.е. $0{,}25\,t_{corr}$) из предложенной толщины. В качестве альтернативы, если используется конечноэлементная модель грузового танка для оценки прочности, которая основывается на вычитании половины надбавки на коррозию – $0{,}5\,t_{corr}$, рассчитанные напряжения должны быть откорректированы с использованием редукционного коэффициента при моделировании, f_{model}, приведенного в *приложении С/2.4.2.7*.

4.2.1.4 Если используется отдельная местная конечноэлементная модель, протяженность местной модели должна быть такой, чтобы рассчитанные напряжения не подвергались значительному влиянию наложенных граничных условий и приложения нагрузок. Граница модели с использованием мелкой сетки должна совпадать с главными несущими элементами, как например, балки, стрингеры и флоры, в модели грузового танка. Протяженность местной конечноэлементноой модели излома скуловой цистерны описывается в *4.2.2*.

4.2.1.5 Определение напряжений в «жестких» точках должно основываться на оболочечном элементе сетки с размером $t_{net50} \times t_{net50}$, где t_{net50} – толщина нетто листа, где вероятней всего происходит возникновение потенциальной усталостной трещины. Этот размер сетки должен поддерживаться в пределах зоны мелкой сетки, простирающейся не менее, чем на 10 элементов во всех направлениях, ведущих к положению усталостных напряжений в жестких точках. Равномерная квадратная сетка должна использоваться в пределах зоны мелкой сетки. Должен обеспечиваться плавный переход плотности сетки, ведущей до зоны мелкой сетки.

4.2.1.6 Четырехузловые оболочечные элементы с изгибными и мембранными свойствами должны использоваться внутри зоны мелкой сетки. Оболочечные элементы должны представлять среднюю плоскость обшивки и изгибные свойства листа. Геометрия сварного шва и несоосность конструкции не требуют моделирования.

4.2.1.7 Если напряжения должны быть определены на свободной кромке или угловых швах, как например, вырезы для соединений ребер жесткости на рамных шпангоутах, стыковые швы на кромке листов и вокруг углов люков, для получения требуемой величины напряжения должен использоваться прутковый элемент с пренебрежимо малой площадью поперечного сечения, например, 1 мм^2.

4.2.1.8 Все конструкции вблизи зон мелкой сетки должны определенно моделироваться с помощью оболочечных элементов. Треугольные элементы не должны по возможности допускаться. Использование крайних отношений длины к ширине (например, отношения длины к ширине более 3) и деформированных элементов (например, элементов с углом загиба менее 60° или более 120°) не должно допускаться.

4.2.2 Соединение скуловой цистерны в районе излома

4.2.2.1 В дополнение к общим требованиям, изложенным в *4.2.1*, требования к моделированию в данном подразделе применимы к моделированию сварных узлов соединений скуловой цистерны в районе излома.

4.2.2.2 Оценка усталости выполняется для узлов соединения в районе излома между вторым дном и листом скуловой цистерны для не менее, чем одного шпангоута в средней грузовой зоне, см. *раздел 9/3.3.3*. Оценку усталости требуется выполнять только на элементе конструкции одного борта судна.

4.2.2.3 Как правило, должны оцениваться узлы соединения скуловой цистерны в районе излома в среднем положении между поперечными переборками. Если имеется отбойная переборка, то, как правило, оцениваются узлы соединения скуловой цистерны в районе излома в среднем положении между отбойной переборкой и концевой переборкой грузового танка. Должны быть изучены результаты, полученные при конечноэлементном анализе грузового танка, описанного в *2.2*, для определения самого высокого напряжения при поперечном изгибе в плоскости пластины на листе второго дна, примыкающего к линии излома нижней скуловой цистерны, для выявления точного положения шпангоута и борта корпуса судна, если должна быть выполнена оценка усталости.

4.2.2.4 Если используется отдельная конечноэлементная модель, минимальная протяженность местной модели следующая:

а) в продольном направлении, модель должна простираться на две шпации рамных шпангоутов (т.е. одну шпацию рамных шпангоутов, простирающуюся в каждую сторону от представляющего интерес рамного шпангоута). Рамные шпангоуты на конце местной модели могут не представляться в подмодели;
б) в вертикальном направлении, модель должна простираться от основной плоскости до нижней продольной балки в междудонной балластной цистерне. Если оценка усталости выполняется также для узлов соединения в районе верхнего излома, модель должна простираться на 4 продольные шпации над нижней продольной балкой в междудонной балластной цистерне;
в) в поперечном направлении, модель должна простираться от борта судна на 4 продольные шпации в сторону Д.П. от нижнего бортового стрингера в двойном дне.

4.2.2.5 Размер сетки в районе узлов соединения в месте излома должен составлять $t_{net50} \times t_{net50}$, где t_{net50} – толщина нетто настила второго дна в районе узлов соединения, полученная путем вычитания $0{,}5\,t_{corr}$ из полной толщины, как указано в *4.2.1.2*. Минимальная протяженность сетки с $t_{net50} \times t_{net50}$ должна составлять (см. также *рис. В.4.1*):

а) настил второго дна – 10 элементов от излома в поперечном направлении, 10 элементов в нос и в корму от флора в продольном направлении;
б) скошенная бракета/нависающая часть второго дна – 10 элементов от излома в поперечном направлении, 10 элементов в нос и в корму от флора в продольном направлении;
в) наклонный лист скуловой цистерны – 10 элементов от излома в поперечном направлении, 10 элементов в нос и в корму от стенки скуловой цистерны в продольном направлении;
г) балка – 10 элементов от излома в вертикальном направлении, 10 элементов в нос и в корму от флора/стенки скуловой цистерны в продольном направлении;
д) флор/стенка скуловой цистерны – 10 элементов от излома скуловой цистерны в поперечном и вертикальном направлении, соответственно.

4.2.2.6 Любые скошенные бракеты на рамном шпангоуте, примыкающем к настилу второго дна, первые продольные ребра жесткости от излома, а также любые карлингсы и бракеты, расположенные на расстоянии от главных шпангоутов должны безусловно моделироваться с помощью оболочечных элементов. Продольные ребра жесткости, еще далее удаленные от излома, могут моделироваться балочными элементами. Свес настила второго дна в направлении борта судна от балки должен моделироваться с помощью оболочечных элементов на протяжении скошенной бракеты. На расстоянии от скошенной бракеты свес настила второго дна может моделироваться с помощью линейных элементов равноценной площади. Любые отверстия, как например, вырезы для кабелей, труб и прохода, которые находятся в пределах одного расстояния ребер жесткости от точки излома, должны быть безусловно моделированы.

4.2.2.7 На *рис. В.4.1* показана протяженность зоны сетки с размером $t_{net50} \times t_{net50}$ и протяженность участков местного уменьшения толщины.

4.2.2.8 На *рис. В.4.2* и *В.4.3* показана типовая локальная конечноэлементная модель узлов соединения скуловой цистерны в районе излома и вид в крупном плане зоны сетки с размером $t_{net50} \times t_{net50}$.

Рис. B.4.1
Минимальная протяженность зоны сетки с размером $t_{net50} \times t_{net50}$, и зона местного уменьшения толщины в районе излома нижней скуловой цистерны

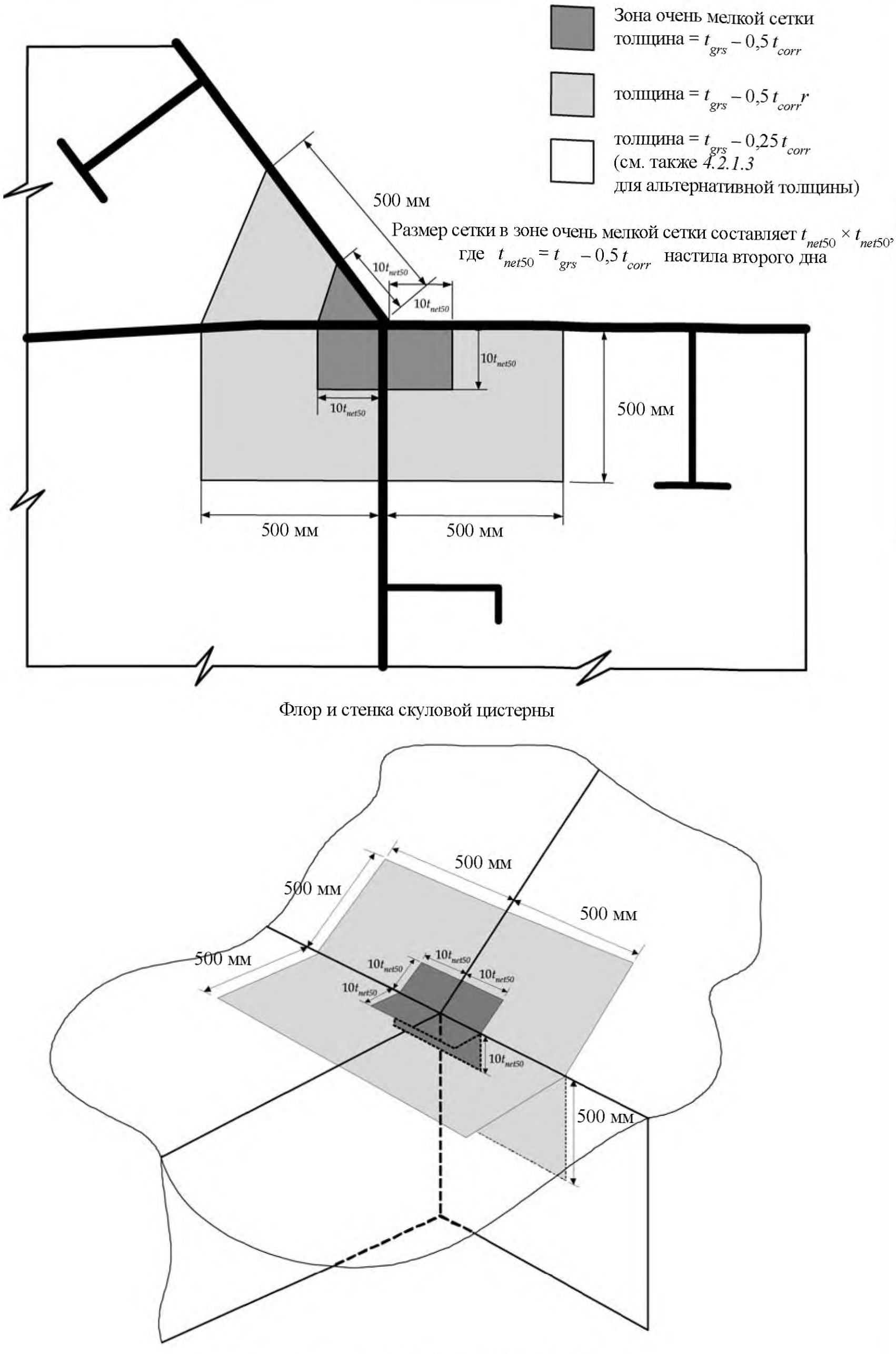
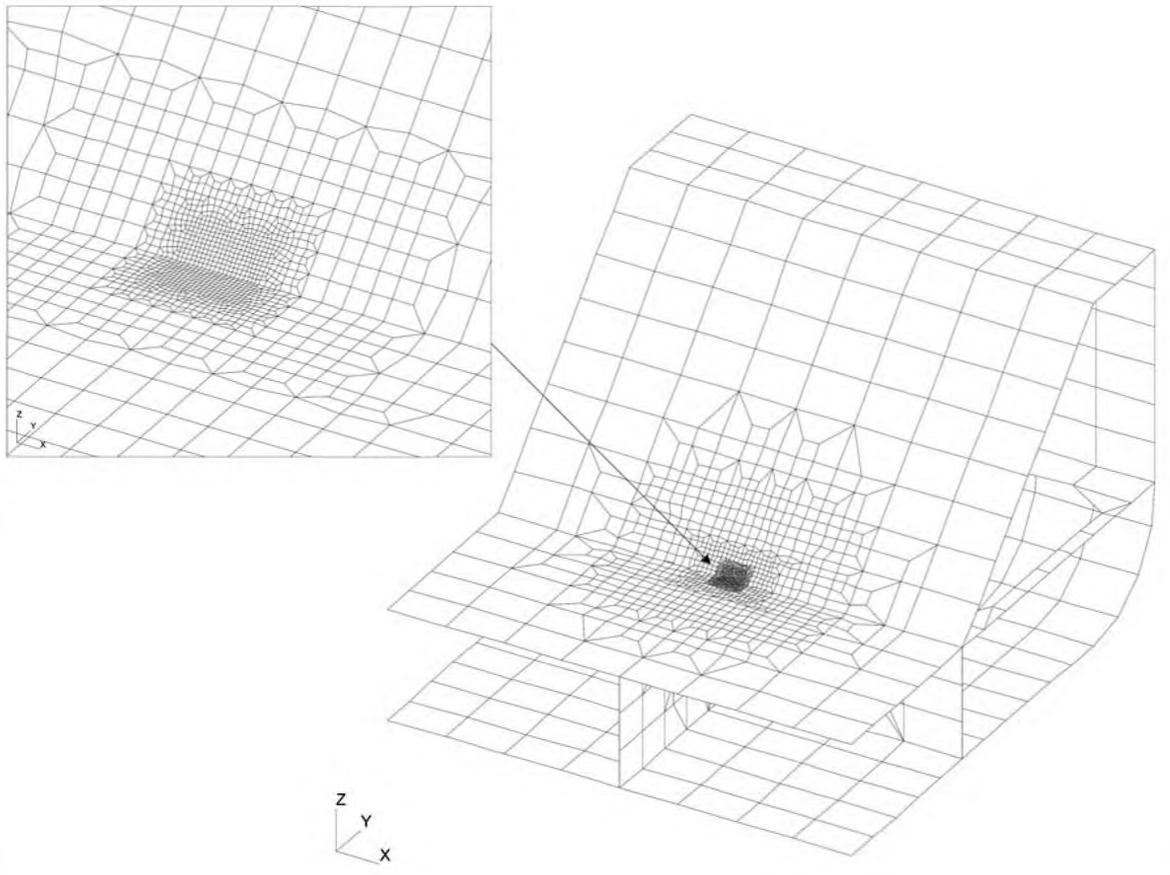


Рис. B.4.2
Типовая местная конечноэлементная модель узлов соединения скуловой цистерны в районе излома
Сетка с размером $t_{net50} \times t_{net50}$ на втором дне и листе скуловой цистерны



4.3 Случаи нагрузки

4.3.1 Общие положения

4.3.1.1 Случаи нагрузки судна. используемые для определения размахов динамических напряжений для оценки усталости, должны соответствовать *приложению С/1.3.2.*

4.3.1.2 При анализе должен использоваться предполагаемый груз в регулярных операциях, как указано в руководстве по загрузке. Однако плотность груза не должна приниматься менее, чем 0,9 т/м^3.

Рис. В.4.3
Типовая местная конечноэлементная модель узлов соединения скуловой цистерны в районе излома
Сетка с размером $t_{net50} \times t_{net50}$ на листе скуловой цистерны, рамном шпангоуте, балке и бракете в данном районе

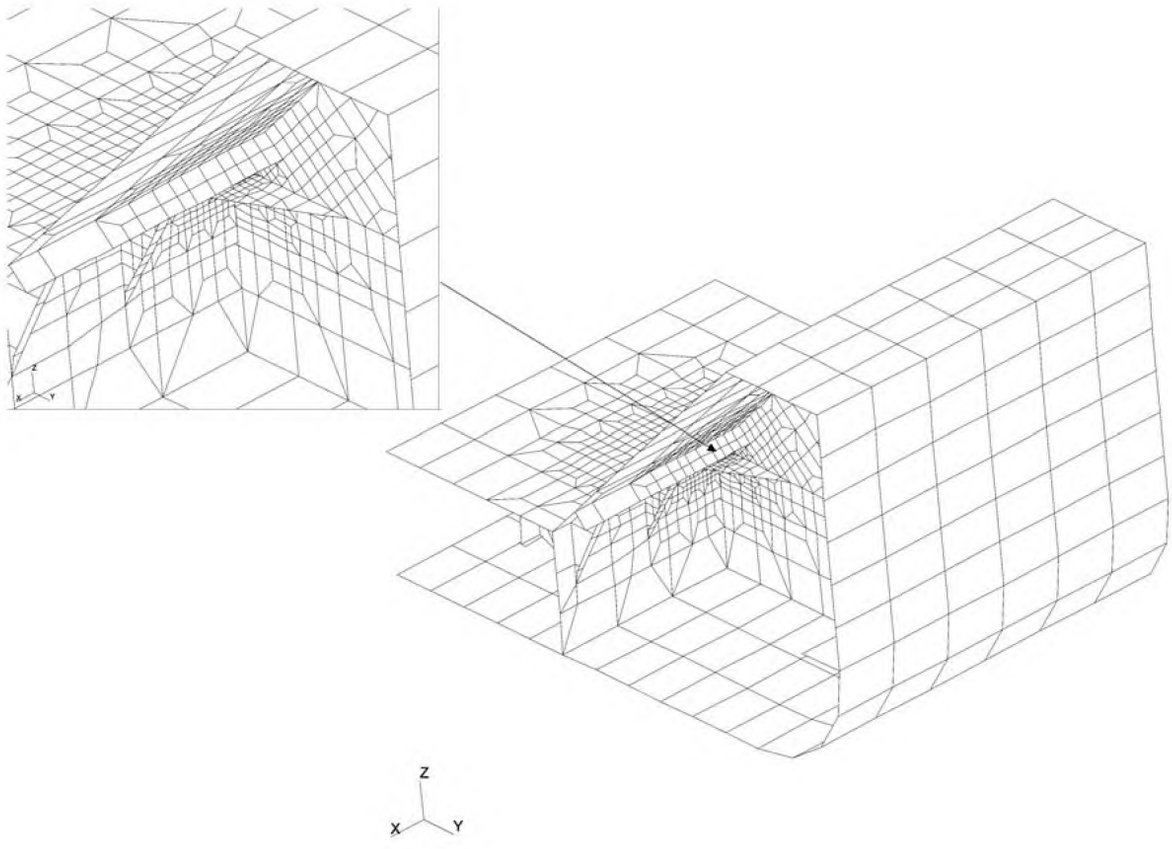
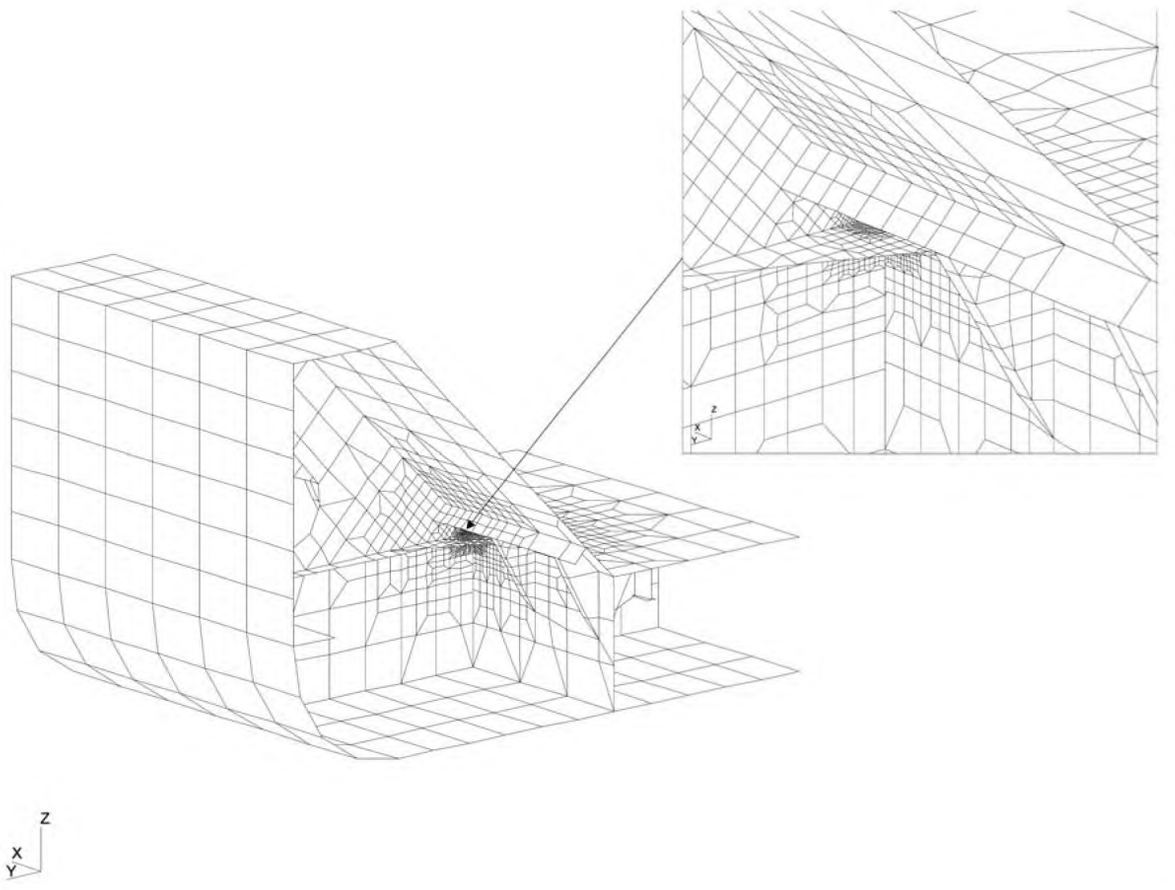


Рис. В.4.4
Типовая местная конечноэлементная модель узлов соединения скуловой цистерна в районе излома. Сетка с размером $t_{net50} \times t_{net50}$ на листе скуловой цистерны, рамном шпангоуте, балке и бракете в данном районе



4.3.2 Случаи нагрузки на конечные элементы для узлов соединений скуловой цистерны в районе излома

4.3.2.1 Требования, приведенные в данном подразделе, специально применяются к определению диапазона напряжений в точках концентрации в узлах соединений скуловой цистерны в районе излома.

4.3.2.2 Только динамические нагрузки рассматриваются для определения размаха усталостных напряжений. Статические напряжения могут не учитываться при анализе методом конечных элементов.

4.3.2.3 Случаи нагрузки, требующиеся для получения размахов компоненты напряжений для определения диапазонов полного напряжения, см. *приложение С/2.4.2.7*, приведены в *табл. В.4.1*.

4.3.2.4 Напряжения, вызванные изгибающими моментами эквивалентного бруса в вертикальной и горизонтальной плоскости, не должны учитываться в диапазоне напряжений для оценки усталости. Напряжения, вызванные влиянием изгиба эквивалентного бруса, должны рассчитываться и выводиться из результатов размаха напряжений усталости в соответствии с методом, описанном в *4.5.2*.

Таблица B.4.1

Случаи нагрузки для определения диапазона компоненты напряжений для узлов соединения скуловой цистерны в районе излома

Случай нагрузки	Размах напряжений	Приложенная нагрузка	Параметры для расчете нагрузок
В полном грузу			
*L*1	s_{e1}	Динамическое волновое давление (полный диапазон) прилагается только к борту корпуса судна, где анализируется излом скуловой цистерны	Осадка судна = осадка на миделе при состоянии полной нагрузки однородным грузом на отход в судовом руководстве по загрузке, см. *приложение C/1.3.2* GM, см. *раздел 7/3.1.3.4* $r_{roll\text{-}gyr}$: см. *раздел 7/3.1.3.4* Плотность груза = 0,9 т/м^3 (минимальная, см. *4.3.1.2*)
*L*2	s_{e2}	Динамическое волновое давление (полный диапазон) прилагается только к борту корпуса судна, где излом скуловой цистерны не анализируется	
*L*3	s_{ix}	Динамическое давление в танке (полный диапазон) вследствие продольного ускорения	
*L*4	s_{iy}	Динамическое давление в танке (полный диапазон) вследствие поперечного ускорения	
*L*5	s_{iz}	Динамическое давление в танке (полный диапазон) вследствие вертикального ускорения	
В балласте			
*L*6	s_{e1}	Динамическое волновое давление (полный диапазон) прилагается только к борту корпуса судна, где анализируется излом скуловой цистерны	Осадка судна = осадка на миделе при нормальном состоянии в балласте на отход в судовом руководстве по загрузке. Если нормальное состояние в балласте не определено, то должна использоваться осадка на миделе при минимальном количестве балласта, см. *приложение C/1.3.2*
*L*7	s_{e2}	Динамическое волновое давление (полный диапазон) прилагается только к борту корпуса судна, где излом скуловой цистерны не анализируется	
Случаи нагрузки для корректировки изгибающих моментов			
*C*1	s_{VBM}	Единичный изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, прилагается к концам модели грузового танка	Никакие другие нагрузки не должны прилагаться
*C*2	s_{HBM}	Единичные изгибающий момент. действующий в горизонтальной плоскости, прилагается к концам модели грузового танка.	

Продолжение табл. B.4.1

где s_{e1}, s_{e2}, s_{ix}, s_{iy}, s_{iz} диапазон компоненты напряжений до корректировки на влияние изгибающего момента; s_{VBM} реакция напряжений вследствие приложения единичного изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, к концам модели грузового танка; s_{HBM} реакция напряжений вследствие приложения единичного изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, к концам модели грузового танка
Примечания 1. Для случаев нагрузки от динамического волнового давления распределение давления должно рассчитываться на миделе и это распределение должно прилагаться по всей длине конечноэлементной модели грузового танка. 2. Для случаев нагрузки от динамического давления в танке вертикальные, поперечные и продольные ускорения рассчитываются в положении центра тяжести средних грузовых танков. Ускорения, рассчитанные для каждого танка должны прилагаться ко всем соответствующим грузовым танкам вдоль длины конечноэлементной модели. 3. Продольные, поперечные и вертикальные ускорения в положении центра тяжести танка должны рассчитываться в соответствии с *разделом 7/3.3*. Амплитуды динамического давления в танке, обусловленные ускорениями, должны рассчитываться в соответствии с *разделом 7/3.5.4.7*. Динамическое давление в танке (полный диапазон) должно приниматься как удвоенная амплитуда динамического давления в танке и распределяться в соответствии с *рис. 7.3.9*. Следует обратить внимание, что эти распределения давления отличаются от тех, которые используются для анализа прочности. 4. Амплитуда динамического волнового давления должна рассчитываться в соответствии с *разделом 7/3.5.2.3*. Динамическое волновое давление (полный диапазон) должно приниматься равным удвоенной амплитуде динамического волнового давления. Следует обратить внимание, что динамическое волновое давление и распределение отличны от тех, которые используются для анализа прочности. 5. Размахи напряжений, рассчитанные по случаям нагрузки L1 – L7, должны быть откорректированы с целью вычитания компоненты, обусловленной влиянием изгибающего момента, действующего в вертикальной и горизонтальной плоскости, см. *4.5.2.2*.

4.4 Граничные условия

4.4.1 Модель грузового танка

4.4.1.1 Граничные условия, прилагаемые к концам модели грузового танка, должны соответствовать *2.6*. Приложение единичного изгибающего момента, действующего в вертикальной и горизонтальной плоскости, к концам модели, должно соответствовать *2.5.4.5* или *2.5.4.6*.

4.4.2 Локальные конечноэлементные модели

4.4.2.1 Если отдельная локальная конечноэлементная модель используется для определения диапазона напряжений в точках концентрации, узловые смещения или эквивалентные узловые усилия из модели грузового танка должны прилагаться к соответствующим граничным узлам на локальной модели.

4.4.2.2 Если на границах локальной модели имеются узлы, которые не совпадают с узловыми точками на модели грузового танка, допускается налагать предписанные смещения на эти узлы с использованием многоточечных заделок. Использование линейных уравнений многоточечных заделок, соединяющих два соседних совпадающих узла, считается достаточным.

4.4.2.3 Все местные нагрузки в районе конструкции, представленной отдельной локальной конечноэлементной моделью, должны прилагаться к модели.

4.5 Оценка результатов

4.5.1 Общие положения

4.5.1.1 Расчет усталостных повреждений должен основываться на размахе напряжений в точках концентрации, определенном вблизи потенциального местонахождения трещины в направлении, перпендикулярном потенциальному направлению трещины.

4.5.1.2 Для сварных элементов конструкции, размах напряжений в точках концентрации должен приниматься как поверхностное напряжение действующее в направлении, перпендикулярном сварному шву, на расстоянии $0{,}5\,t_{net50}$ от положения кромки лицевой поверхности шва, где t_{net50} – эффективная толщина листа, где имеется вероятность возникновения усталостной трещины, см. *C/2.4.2.6*.

4.5.1.3 Что касается оценки усталости свободной кромки, для определения усталости на свободной кромке используется прутковый элемент. Размах напряжений должен основываться на осевом напряжении в прутковом элементе.

4.5.1.4 Для расчета усталостного повреждения узлов соединений скуловой цистерны в районе излома см. *4.5.2*.

4.5.2 Узлы соединения скуловой цистерны в районе излома

4.5.2.1 Диапазоны напряжений в точках концентрации для оценки усталости узлов соединения сварной скуловой цистерны в районе излома должны основываться на прямом напряжении в элементе в направлении, перпендикулярном линии пересечения листа второго дна и листа скуловой цистерны. Диапазоны напряжений должны определяться на верхней поверхности скуловой цистерны и листе второго дна на расстоянии $0{,}5\,t_{net50} + x_{wt}$ от линии пересечения , где t_{net50} – эффективная толщина листа второго дна, а x_{wt} – расстояние до кромки лицевой поверхности сварного шва , см. *рис. С.2.1*. Напряжение в требуемом месте может быть определено путем линейной интерполяции, основывающейся на поверхностных напряжениях , определенных в центре тяжести 1-го и 2-го элементов от места пересечения листа скуловой цистерны и листа второго дна.

4.5.2 Диапазоны напряжений в точках концентрации, рассчитанные по случаям нагрузки L1 – L7 в *табл. В.4.1*, должны быть откорректированы следующим образом для устранения напряжения, вызванного изгибающими моментами эквивалентного бруса, действующими в вертикальной и горизонтальной плоскости:

$$S_{c_i} = s_{c_i} - M_{V_i}\,s_{VBM} - M_{H_I}\,s_{HBM}$$

где S_{c_i} $S_{e1}, S_{e2}, S_{ix}, S_{iy}$ или S_{iz} диапазон компонент напряжений после корректировки на влияние изгибающих моментов;

s_{c_i} $s_{e1}, s_{e2}, s_{ix}, s_{iy}$ или s_{iz} диапазон компонент напряжений с учетом влияния изгибающих моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскости, полученных для случаев нагрузки $L1 - L7$, см. табл. В.4.1;

M_{V_i} изгибающий момент эквивалентного бруса, действующий в вертикальной плоскости, вследствие нагрузок, приложенных к конечноэлементной модели грузового танка, полученный для случая нагрузки $L1, L2, L3, L4, L5, L6$ или $L7$. Изгибающий момент должен рассчитываться в продольном направлении, в положении , где расположен центр тяжести исследуемого оболочечного элемента;

M_{H_i} изгибающий момент эквивалентного бруса, действующий в горизонтальной плоскости вследствие нагрузок, приложенных к конечноэлементной модели грузового танка, полученный для случая нагрузки $L1, L2, L3, L4, L5, L6$ или $L7$. Изгибающий момент должен рассчитываться в продольном направлении, в положении, где расположен центр тяжести исследуемого оболочечного элемента;

s_{VBM} напряжение, вызванное единичным изгибающим моментов, действующим в вертикальной плоскости, определенным для случая нагрузки $C1$, см. *табл. В.4.1*;

s_{HBM} напряжение, вызванное единичным изгибающим моментов, действующим в горизонтальной плоскости, определенным для случая нагрузки $C2$, см. *табл. В.4.1*.

4.5.2.3 Изгибающие моменты эквивалентного бруса, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскости, упомянутые в 4.5.2.2, могут определяться в положении шпангоута, где оценивается излом скуловой цистерны, если расстояние в продольном направлении от центра тяжести элемента до положения шпангоута меньше 500 мм.

4.5.2.4 Диапазон компоненты напряжения, S_i, вследствие динамического давления в танке, обусловленного продольным, поперечным и вертикальным ускорением для состояния в полном грузу, задается следующей формулой:

$$S_i = 0{,}4\,|S_{ix}| + 0{,}9\,|S_{iy}| + 0{,}9\,|S_{iz}|.$$

4.5.2.5 Комбинированные/ сложные диапазоны напряжений в «жестких» точках, требующиеся для расчета усталостного повреждения, должны рассчитываться в соответствии с *приложением С/2.4.2.7.*

4.5.2.6 Расчет усталостного повреждения и усталостной долговечности должен соответствовать требованиям *приложения С/1.4.1.*

ПРИЛОЖЕНИЕ С. ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

1 Подход к номинальным напряжениям

1.1 Общие положения

1.1.1 Применимость

1.1.1.1 В настоящем Подразделе определяется методика для упрощенной оценки усталости, которая должна использоваться для определения усталостной прочности узлов и деталей корпуса. Оценка усталости использует подход номинальных напряжений, основанный на балочной теории.

1.1.1.2 Оценка усталости должна применяться для сварных соединений, если сталь имеет минимальный предел текучести менее 400 Н/мм^2.

1.1.2 Допущения

1.1.2.1 При оценке усталости делаются следующие допущения:

а) в связи с данными S-N (усталости), приведенными в *1.4.5*, использовалась линейная модель накопленной усталости, т.е. закон Пальмгрена-Майнера;
б) для соединений концов продольных ребер жесткости номинальные напряжения, полученные по эмпирическим формулам, см. *1.4.2 – 1.4.4*, и нагрузки, основанные на указанном законе, образуют основу оценки усталости, основывающейся на номинальном напряжении;
в) диапазоны длительных напряжений узла/детали конструкции могут характеризоваться с использованием модифицированного параметра распределения вероятности по Вейбуллу, ξ, как описано в *1.4.1.5 и 1.4.1.6*;
г) узлы/детали конструкции идеализированы и классифицированы в *1.5*.

1.1.2.2 Классификация узлов/деталей конструкции в *1.5* основывается на типовой геометрии соединений при простом нагружении. В случае, если элемент конструкции отличается от показанных в *1.5*, должен использоваться соответствующий анализ методом конечных элементов для демонстрации пригодности элемента с точки зрения усталостной прочности. См. *2.1.1.3*.

1.1.2.3 Если рассматриваемое нагружение или геометрия является слишком сложным для простой классификации, должен быть выполнен анализ элемента методом конечных элементов для определения усталостного напряжения этого элемента. В *подразделе 2* определяется методика для оценки, основывающейся на конечных элементах, с целью определения жестких точек напряжений, которая должна использоваться для положений кромки сварного шва, которая обычно находится в районе наклонного сварного соединения скуловой цистерны вблизи поперечных главных несущих элементов. Для наклонных соединений гнутого типа рекомендации приведены в *2.1.1.2*.

1.2 Модель коррозии

1.2.1 Толщина нетто

1.2.1.1 Толщина нетто и прибавки на коррозию, как указано в *разделе 6/3*, должны включаться в представление модели несущей способности конструкции.

1.3 Нагрузки

1.3.1 Общие положения

1.3.1.1 Судовые конструкции подвергаются действию нагрузок различного вида, которые включают:

а) статические нагрузки, включающие вес груза и вес судна порожнем;

б) нагрузки от волн (волновые нагрузки);
в) ударные нагрузки, как например, днищевой слеминг, удары волн о развалы бортов и удары жидкости о стенки частично заполненных танков;
г) циклические нагрузки, обусловленные вибрацией главного двигателя или гребного винта;
д) случайные нагрузки, как, например, тепловые нагрузки;
е) остаточные напряжения.

1.3.1.2 При анализе усталостной прочности учитываются следующие волновые нагрузки для расчета длительного распределения напряжений:

а) нагрузки эквивалентного бруса (т.е. волновые изгибающие моменты, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскостях);
б) динамические волновые давления;
в) динамические давления в танках, вызванные качкой судна.

1.3.2 Выбор случаев нагрузки

1.3.2.1 Анализы усталости должны выполняться для представления случаев нагрузки в соответствии с предполагаемой эксплуатацией судна. Должны быть рассмотрены два следующих случая нагрузки:

а) состояние судна в полном грузу при расчетной осадке, T_{full}, см. *раздел 4/1.1.5.4*;
б) состояние судна в балласте при нормальной осадке в балласте, $T_{bal\text{-}n}$, см. *раздел 4/1.1.5.3*. Если нормальное состояние в балласте не определено в Руководстве по загрузке, должна использоваться осадка T_{bal}, см. *раздел 4/1.1.5.2*, при минимальном количестве балласта.

1.3.2.2 Соответствующая осадка на миделе должна использоваться для определения нагрузок, вызывающих усталость.

1.3.3 Определение нагрузок

1.3.3.1 Нагрузки, прикладываемые к конструкции, должны рассчитываться для определения диапазона напряжений для соответствующих случаев нагрузки.

1.3.3.2 Сложные напряжения, вызванные действием общих и местных нагрузок, должны рассчитываться в соответствии с *1.4.4* с учетом уровня вероятности 10^{-4}.

1.3.4 Волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости

1.3.4.1 Волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, должен рассчитываться, как указано в *разделе 7/3.4.1*. Значения псевдоамплитуды (полудиапазона) волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, $M_{wv\text{-}v\text{-}amp}$, для состояния в полном грузу и в балласте должны вычисляться по формуле:

$$M_{wv\text{-}v\text{-}amp} = 0{,}5\,(M_{wv\text{-}hog} - M_{wv\text{-}sag}) \quad \text{кНм},$$

где $M_{wv\text{-}hog}$ волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при перегибе, кНм;
$M_{wv\text{-}sag}$ волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при прогибе, кНм.

1.3.5 Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости

1.3.5.1 Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости, должен рассчитываться, как указано в *разделе 7/3.4.2*. Значения псевдоамплитуды (полудиапазона) волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, $M_{wv\text{-}h\text{-}amp}$, для состояния в полном грузу и в балласте должны вычисляться по формуле:

$$M_{wv\text{-}h\text{-}amp} = 0{,}5\,(M_{wv\text{-}h\text{-}pos} - M_{wv\text{-}h\text{-}neg}) \quad \text{кНм},$$

где $M_{wv\text{-}h\text{-}pos}$ положительный волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при перегибе, кНм
$= M_{wv\text{-}h}$;

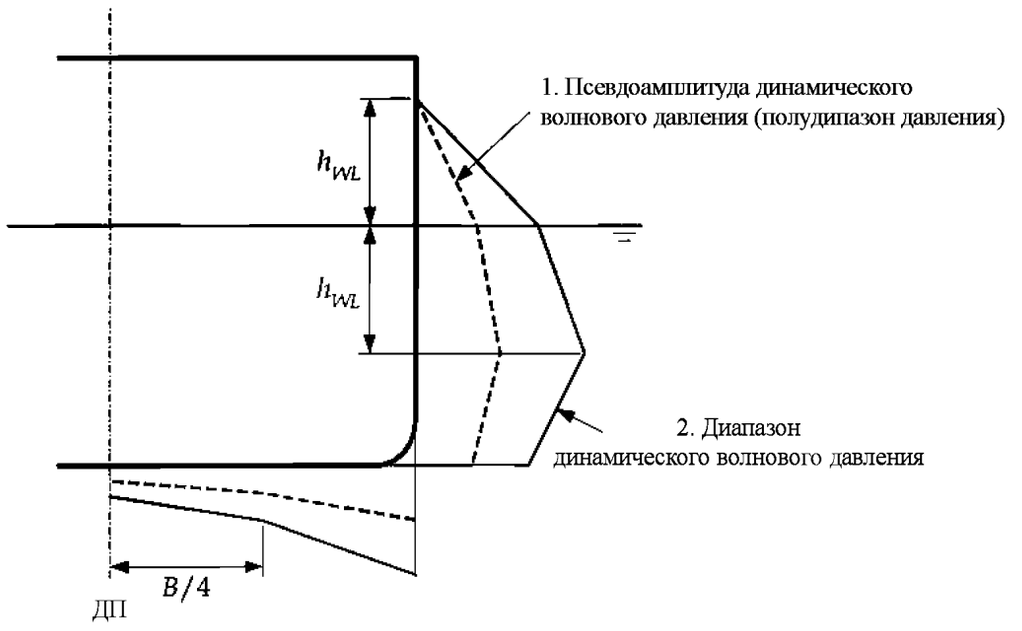
$M_{wv\text{-}h\text{-}neg}$ отрицательный волновой изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, при прогибе, кНм
$= -M_{wv\text{-}h}$.

1.3.6 Динамическое волновое давление

1.3.6.1 Динамическое волновое давление должно рассчитываться в соответствии с *разделом 7/3.5.2.*

1.3.6.2 С учетом чередования внешнего давления вследствие перемежающихся влажных и сухих участков в *разделе 7/3.5.2.3* подробно определена псевдоамплитуда внешнего давления (полудиапазон давления), $P_{ex\text{-}amp}$, которая показана на *рис. С.1.1.*

Рис. С.1.1
Динамическое давление



1.3.7 Динамическое давление в танке

1.3.7.1 Амплитуда динамического давления в танке, $P_{in\text{-}amp}$, должна рассчитываться согласно *разделу 7/3.5.4.5* и *разделу 7/3.5.4.6.* Динамическое внутреннее давление для палубы не учитывается.

1.4 Расчет усталостного повреждения

1.4.1 Определение усталостной прочности

1.4.1.1 Оценка усталости конструкции основывается на применении закона накопленного усталостного повреждения Пальмгрена-Майнера, приведенного ниже. Если коэффициент накопленного усталостного повреждения, *DM* больше 1, усталостная долговечность конструкции неприемлема. *DM* должен приниматься равным:

$$DM = \sum_{i=1}^{i=n_{tot}} \frac{n_i}{N_i},$$

где n_i число циклов размаха напряжений S_i;
N_i число циклов до разрушения при размахе напряжений S_i;
n_{tot} общее число блоков размахов напряжений.

1.4.1.2 Оценка усталостной прочности сварных конструктивных элементов включает три следующие фазы:

а) расчет диапазонов напряжений;
б) выбор расчетной кривой S-N;
в) расчет накопленного повреждения.

1.4.1.3 Коэффициент накопленного усталостного повреждения, *DM*, должен быть не менее 1 для обеспечения усталостной долговечности судна. Расчетная усталостная долговечность должна быть не менее 25 лет. Если не оговорено иначе, результирующее накопленное повреждение должно определяться по формуле:

$$DM = \sum_{i=1}^{2} DM_i,$$

где DM_i коэффициент накопленного усталостного повреждения для применяемого состояния нагрузки;
$i = 1$ для состояния в полном грузу;
$= 2$ для нормального состояния в балласте.

1.4.1.4 Если предположить, что длительное распределение размахов напряжений соответствует двухпараметрическому распределению вероятностей по Вейбуллу, накопленное усталостное повреждение DM_i для каждого соответствующего состояния должно определяться по формуле:

$$DM_i = \frac{\alpha_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right),$$

где N_L число циклов для ожидаемой расчетной усталостной долговечности. Если не оговорено иное, N_L должно определяться следующим образом:

$$= \frac{f_0 U}{4 \log L};$$

Значение, как правило, находится между $0{,}6 \times 10^8$ и $0{,}8 \times 10^8$ для расчетной усталостной долговечности 25 лет;

f_0 0,85, коэффициент, учитывающий время простоя для выполнения таких операций как погрузка, разгрузка, ремонт и т.д.;

U расчетная усталостная долговечность, с
$= 0{,}788 \times 10^9$ для расчетной усталостной долговечности 25 лет;

L длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;

m параметр кривой S-N, как указано в *1.4.5.5*;

K_2 параметр кривой S-N, как указано в *1.4.5.5*;

α_i доля срока службы судна:
$\alpha_1 = 0{,}5$ для состояния в полном грузу;
$\alpha_2 = 0{,}5$ для состояния в балласте;

S_{Ri} размах напряжений при репрезентативном уровне вероятности 10^{-4}, Н/мм^2;

N_R 10000, число циклов, соответствующих уровню вероятности 10^{-4};

ξ параметр распределения вероятностей по Вейбуллу, как указано в *1.4.1.6*;

Γ гамма-функция;

μ_i коэффициент, учитывающий изменение наклона кривой S-N;

$$\mu_i = 1 - \frac{\left\{\gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i\right) - v_i^{-\Delta m/\xi}\gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i\right)\right\}}{\Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)};$$

$$v_i = \left(\frac{S_q}{S_{Ri}}\right)^{\xi} ln N_R;$$

S_q размах напряжений на пересечении двух сегментов кривой S-N, см. *табл. С.1.6*, Н/мм^2;

Δm изменение наклона верхнего-нижнего сегмента кривой S-N
= 2;

$\gamma(a,x)$ неполная гамма-функция, форма Лежандра.

1.4.1.5 Функция плотности вероятности длительного распределения размахов напряжений (изгиб эквивалентного бруса + местный изгиб) должна представляться двухпараметрическим распределением по Вейбуллу. Это предположение позволяет использовать замкнутую форму уравнения для расчета усталостной долговечности, когда определяются два параметра распределения по Вейбуллу. Функция плотности вероятности, $f(S)$, определяется следующим образом:

$$f(S) = \frac{\xi}{f_1}\left(\frac{S}{f_1}\right)^{\xi-1} exp\left(-\frac{S}{f_1}\right)^{\xi},$$

где S размах напряжений, Н/мм^2;

ξ параметр распределения вероятностей по Вейбуллу, как указано в *1.4.1.6*;

f_1 масштабный параметр

$$= \frac{S_R}{(ln N_R)^{1/\xi}};$$

N_R число циклов, соответствующих обеспеченности $1/N_R$;

S_R размах напряжений с обеспеченностью $1/N_R$, Н/мм^2.

1.4.1.6 Для каждого рассматриваемого элемента конструкции параметр формы распределения по Вейбуллу должен выбираться с должным учетом категорий нагрузок, способствующих циклическим напряжениям. Параметр распределения вероятностей по Вейбуллу, ξ, должен определяться следующим образом:

$$\xi = f_{Weibull}\left(1{,}1 - 0{,}35\,\frac{L - 100}{300}\right),$$

где L длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*;

D расчетная высота борта, м, как указано в *разделе 4/1.1.4.1*;

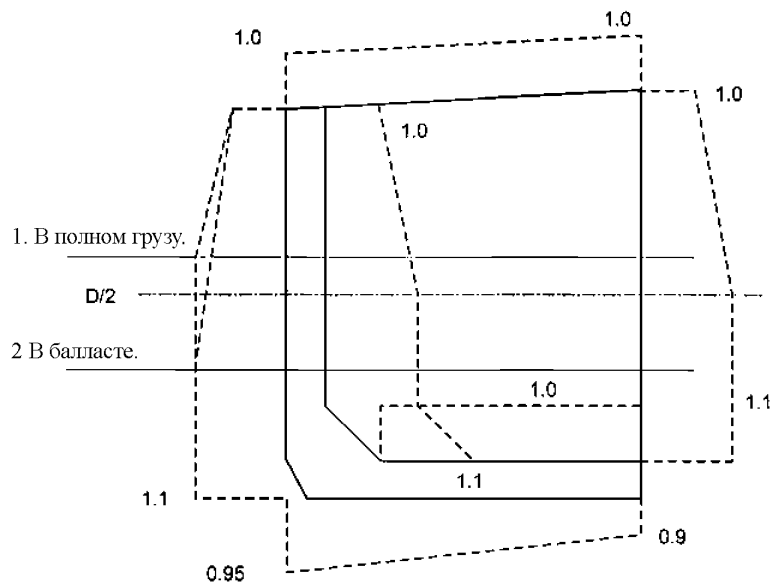
$f_{Weibull}$ зависящий от места коэффициент модификации. как указано в *табл. С.1.1* и на *рис. С.1.2*.

Таблица С.1.1

Распределение коэффициентов $f_{Weibull}$

Район обшивки	$f_{Weibull}$ (см. примечание)
Днище	0,9 в ДП и 0,95 у борта
Борт и скула	1,1 при осадке до T_{LC} и 1,0 на палубе
Палуба	1,0
Второе дно	1,0
Внутренний борт	1,1 до $D/2$ и 1,0 на палубе
Внутренняя продольная переборка	1,1 до $D/2$ и 1,0 на палубе
Диаметральная продольная переборка	1,1 до $D/2$ и 1,0 на палубе
Примечание Промежуточные значения определяются линейной интерполяцией.	

Рис. С.1.2
Распределение коэффициентов $f_{Weibull}$



1.4.1.7 Коэффициент накопленного усталостного повреждения, *DM*, может быть преобразован в рассчитанную усталостную долговечность при использовании соотношения, приведенного ниже, В данном формате рассчитанная усталостная долговечность должна быть равна или превышать расчетный срок службы судна.

$$\text{Усталостная долговечность} = \frac{\text{расчетный срок службы}}{DM} \text{ лет.}$$

1.4.2 Используемые напряжения

1.4.2.1 Номинальные напряжения должны определяться с учетом общих геометрических изменений элемента. Влияние концентраций напряжений вследствие нарушений непрерывности конструкции, наличия креплений и сварного шва не учитывается.

1.4.3 Расчет номинального напряжения

1.4.3.1 В настоящем Подразделе описывается упрощенный подход к определению общих и локальных компонентов напряжений напряженного состояния судна.

1.4.3.2 Напряженное состояние должно рассчитываться с различной степенью подробности. Следующий подход был принят в данном упрощенном методе:

а) эквивалентный брус рассматривается как простая балка в качестве способа получения приемлемых приближений для уровня номинального напряжения в продольных элементах эквивалентного бруса. Это используется для определения уровней напряжения эквивалентного бруса в районе критических элементов;
б) конструктивный элемент с присоединенным пояском используется при определении номинального напряженного состояния продольных связей и шпангоутов, обусловленного нагрузками от динамического волнового давления и динамического давления в танке. Учитываются заделка концов элемента и моменты.

1.4.4 Определение компонентов напряжения

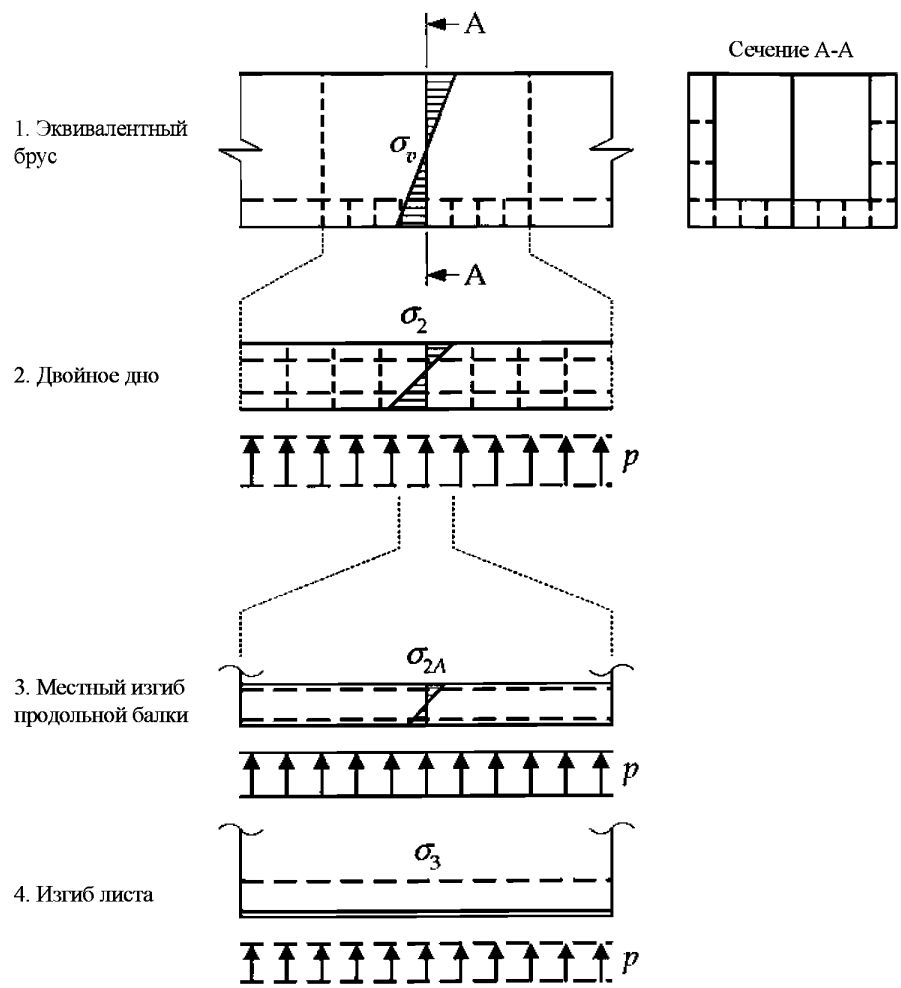
1.4.4.1 Динамические изменения напряжения определяются либо как диапазон напряжений, S, либо как амплитуда напряжений, σ.

1.4.4.2 Компоненты общих динамических напряжений (первичные напряжения), учитываемые в анализе усталости, представляют собой волновое напряжение изгиба эквивалентного бруса в вертикальной плоскости, σ_v, и волновое напряжение изгиба эквивалентного бруса в горизонтальной плоскости, σ_h.

1.4.4.3 Учитываемые амплитуды локальных динамических напряжений определяются как амплитуда полного локального напряжения, обусловленная нагрузками от динамического волнового давления или нагрузками от динамического давления в танке, $\sigma_{e\text{-}i}$.

1.4.4.4 Компоненты локального напряжения определяются как вторичное напряжение, вызванное изгибом систем балок, σ_2, амплитуда напряжения, вызванная изгибом ребер жесткости между опорами балок, σ_{2A}, амплитуда третичных напряжений, вызванная изгибом неподкрепленных листовых элементов между продольными связями и шпангоутами, σ_3. См. *рис. С.1.3*.

Рис. С.1.3
Определение компонент локального напряжения



1.4.4.5 Полное локальное напряжение вследствие нагрузок от динамического волнового давления или динамического давления в танке, $\sigma_{e\text{-}i}$, должно определяться следующим образом:

$$\sigma_{e\text{-}i} = \sigma_2 + \sigma_{2A} + \sigma_3 \quad \text{Н/мм}^2,$$

где σ_2 компонента локального напряжения, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.4*;
σ_{2A} компонента локального напряжения, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.4*;
σ_3 компонента локального напряжения, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.4*.

1.4.4.6 Для расчета компонент напряжения волновое напряжение эквивалентного бруса в вертикальной плоскости, σ_v, определяется следующим образом:

$$\sigma_v = \frac{M_{wv\text{-}v\text{-}amp}}{Z_{v\text{-}net75}} 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2,$$

где $M_{wv\text{-}v\text{-}amp}$ псевдоамплитуда (половина диапазона), кНм, как указано в 1.3.4;

$Z_{h\text{-}net75}$ $\dfrac{I_{v\text{-}net75}}{|z - z_{NA\text{-}net75}|}$ м^3, см. *раздел 4/2.6.1*;

$I_{v\text{-}net75}$ момент инерции нетто эквивалентного бруса, действующий в вертикальной плоскости, поперечного сечения корпуса относительно поперечной нейтральной оси (за вычетом отверстий), м^4; $I_{v\text{-}net75}$ должен рассчитываться на основании полной толщины, уменьшенной на $0{,}25t_{corr}$ для всех конструктивных элементов, см. *раздел 4/2.6.1.3*;

z расстояние от основной плоскости до критического месторасположения рассматриваемого элемента , т.е. верха фланца продольного ребра жесткости, м;

$z_{NA\text{-}net75}$ расстояние от основной плоскости до горизонтальной нейтральной оси, согласующееся с $I_{v\text{-}net75}$, м.

1.4.4.7 Соответствующий размах напряжений вследствие волнового изгибающего момента, действующего в вертикальной плоскости, S_v, должен определяться следующим образом:

$$S_v = 2\sigma_v \quad \text{Н/мм}^2,$$

где σ_v волновое напряжение эквивалентного бруса в вертикальной плоскости, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.6*.

1.4.4.8 Волновое напряжение эквивалентного бруса в горизонтальной плоскости, σ_h, должно определяться следующим образом:

$$\sigma_h = \frac{M_{wv\text{-}h\text{-}amp}}{Z_{h\text{-}net75}} 10^{-3} \quad \text{Н/мм}^2,$$

где $M_{wv\text{-}h\text{-}amp}$ кНм, как указано в *1.3.5*;

$Z_{h\text{-}net75}$ $\dfrac{I_{h\text{-}net75}}{|y|}$ м^3, см. *раздел 4/2.6.2*;

y расстояние от вертикальной нейтральной оси поперечного сечения корпуса до критического месторасположения рассматриваемого элемента, м, т.е. верха свободного пояска продольного ребра жесткости;

$I_{h\text{-}net75}$ момент инерции нетто эквивалентного бруса, действующего в горизонтальной плоскости, поперечного сечения корпуса относительно вертикальной нейтральной оси (за вычетом отверстий), м^4; $I_{h\text{-}net75}$ должен рассчитываться, основываясь на полной толщине, уменьшенной на $0{,}25t_{corr}$ для всех конструктивных элементов.

1.4.4.9 Соответствующий размах напряжений вследствие волнового изгибающего момента, действующего в горизонтальной плоскости, S_h, должен определяться следующим образом:

$$S_h = 2\sigma_h \quad \text{Н/мм}^2,$$

где σ_h волновое напряжение эквивалентного бруса в горизонтальной плоскости, как указано в *1.4.4.8*.

1.4.4.10 Влияние вторичного напряжения, σ_2, как указано в *1.4.4.4*, как правило, невелико для двухкорпусных танкеров, и поэтому не учитывается.

1.4.4.11 Амплитуда напряжений, обусловленная изгибом ребер жесткости между опорами (например, шпангоутами, переборками), σ_{2A}, должна определяться следующим образом:

$$\sigma_{2A} = K_n K_d \frac{M}{Z_{net50}} 10^6 \quad \text{Н/мм}^2,$$

где K_n коэффициент интенсивности напряжений для несимметричных профилей, как указано в *1.4.4.15*;

K_d коэффициент интенсивности напряжений для напряжения изгиба в продольных ребрах жесткости, вызванных относительной деформацией ребер жесткости, может быть определен анализом методом конечных элементов модели грузового трюма, где учитывается фактическая относительная деформация или коэффициент определяется следующим образом:

1,0 в соединениях шпангоутов;

1,15 для всех продольных конструктивных элементов в районе соединений переборок, включая отбойные переборки, за исключением:

а) состояния в полном грузу:

1,3 для бортовых и скуловых стрингеров в среднем положении между самым низким бортовым стрингером и кромкой палубы,

1,15 для бортовых и скуловых стрингеров на самом низком бортовом стрингере и кромке палубы;

коэффициент определяется путем линейной интерполяции между этими двумя значениями

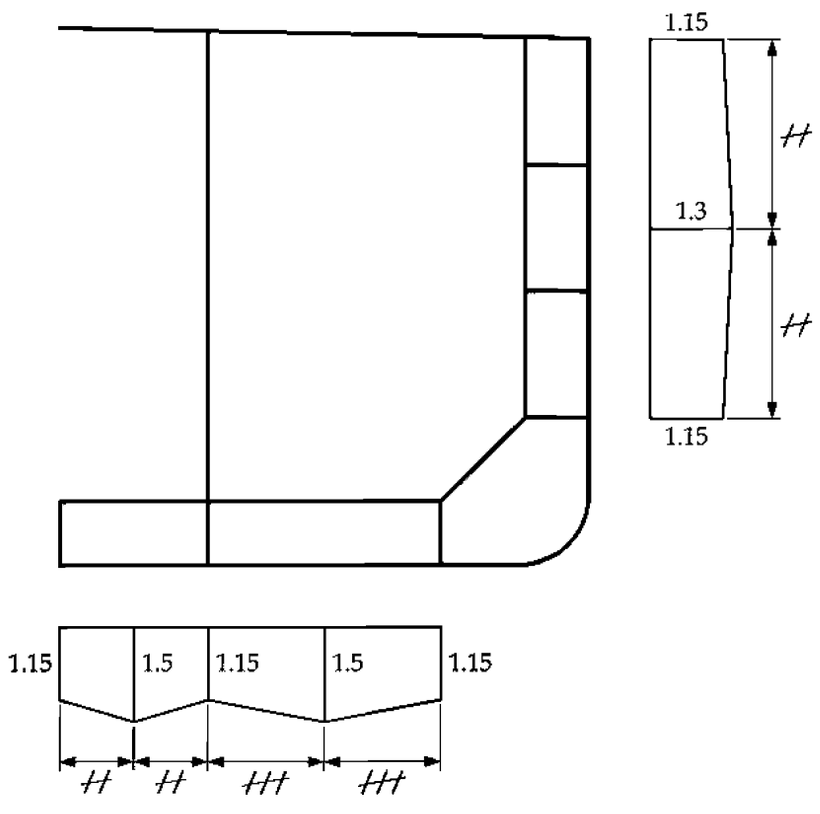
1,5 для днищевых стрингеров в среднем положении между продольной переборкой, днищевыми продольными балками или опорной конструкцией;

1,15 для днищевых стрингеров у продольной переборки, днищевых продольных связей или опорной конструкции;

коэффициент определяется путем линейной интерполяции между этими двумя значениями.

См. *рис. С.1.4;*

Рис. С.1.4
Изменение коэффициента концентрации напряжений в переборке, K_d, в состоянии в полном грузу для судна с двумя продольными переборками



(б) состояния в балласте:

1,5 для днищевых стрингеров в среднем положении между продольной переборкой, днищевыми продольными конструктивными элементами и опорной конструкцией;

1,15 для днищевых стрингеров у продольной переборки, днищевых продольных конструктивных элементов или опорной конструкции;

коэффициент определяется путем линейной интерполяции между этими двумя значениями.

M момент на опоре ребра жесткости, подогнанный к положению кромки лицевой поверхности сварного шва на ребре жесткости (например, на конце кницы), Н/мм^2:

$$= \frac{P s l_{bdg}^2 10^3}{12} r_p;$$

s расстояние между ребрами жесткости, м;

l_{bdg} эффективный пролет при изгибе продольного ребра жесткости, как показано на *рис. С.1.5*, м. См. также *рис. 4.2.1* и *4.2.2* в *разделе 4* для книц с притупленным концом. Верхние подкрепляющие ребра с притупленным концом должны рассматриваться так же, как полосовой профиль с кницами, имеющими притупленное окончание. Точка на пролете должна выбираться в месте, где высота стенки концевой кницы, измеренная от поверхности элемента, равна половине высоты стенки элемента;

Z_{net50} момент сопротивления сечения продольного ребра жесткости с соответствующим присоединенным пояском, b_{eff}, см^3, рассчитанный с учетом полной толщины, уменьшенной на $0{,}5t_{corr}$;

b_{eff} как указано в *разделе 4/2.3.3;*

r_p коэффициент интерполяции момента для интерполяции положения наружной поверхности сварного шва вдоль длины ребра жесткости:

$$= \left| 6\left(\frac{x}{l_{bdg}}\right)^2 - 6\left(\frac{x}{l_{bdg}}\right) + 1{,}0 \right|, \quad \text{где } 0 \le x \le l_{bdg},$$

где x расстояние до точки концентрации, м;

P амплитуда бокового динамического давления на середине пролета между рассматриваемым шпангоутом и соседним шпангоутом, кН/м^2;

$P_{in\text{-}amp}$ для динамического давления в танке должно приниматься, как указано в *1.3.7*;

$P_{ex\text{-}amp}$ для динамического волнового давления должно приниматься как указано в *1.3.6*.

1.4.4.12 Диапазон напряжений вследствие внешнего волнового давления или внутреннего давления в танке, S_e или S_i, должен определяться следующим образом:

$S_e = 2\,\sigma_{2Ae}$ Н/мм^2;

$S_i = 2\,\sigma_{2Ai}$ Н/мм^2,

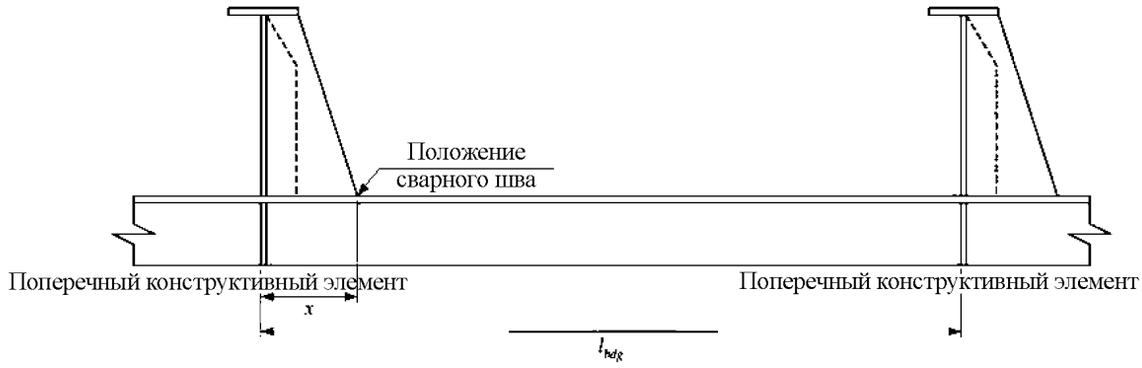
где σ_{2Ae} амплитуда напряжения, как указано в *1.4.4.11*, когда используется $P_{ex\text{-}amp}$;

σ_{2Ai} амплитуда напряжения, как указано в *1.4.4.11*, когда используется $P_{in\text{-}amp}$.

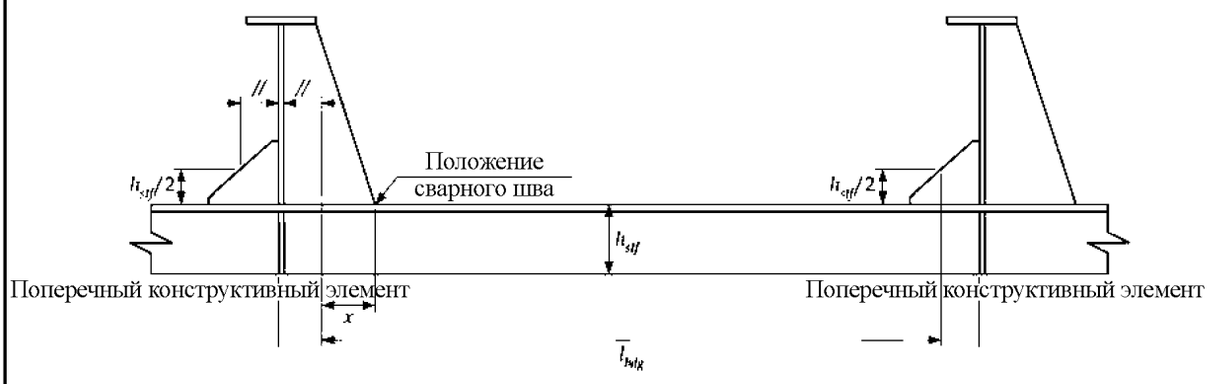
1.4.4.13 Амплитуда продольного локального третичного напряжения при плоском изгибе в сварном шве на пересечении с листом, шпангоутом или переборкой, σ^3, не относится к рассматриваемым критическим местам и не должна учитываться.

1.4.4.14 Эффективная ширина фланцев полосового сечения подкрепляющих конструктивных элементов (продольных конструктивных элементов) при изгибе (вследствие влияния сдвигового отстаивания), подвергающихся воздействию равномерной боковой нагрузки для изгиба на концах, определяется в *разделе 4/2.3.3*.

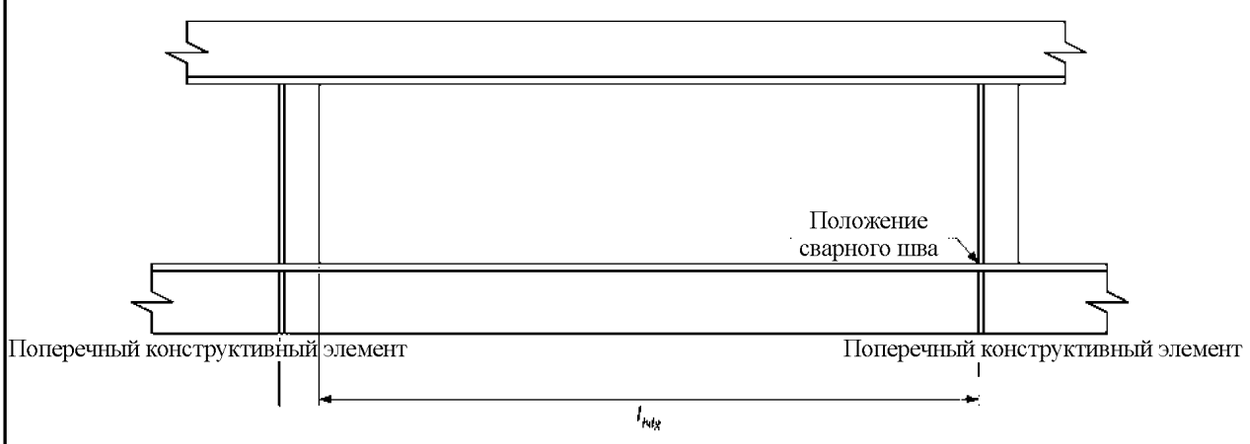
Рис. С.1.5
Определение длины эффективного пролета



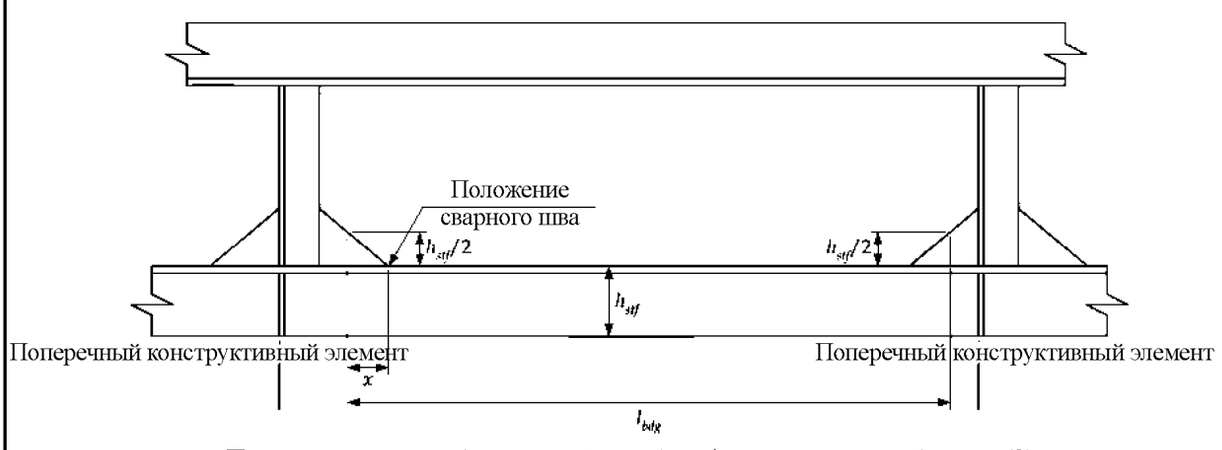
Поддерживается поперечными конструктивными элементами со свободным фланцем (1)



Поддерживается поперечными конструктивными элементами со свободным фланцем (2)



Поддерживается переборками двойного борта/поперечными переборками (1)



Поддерживается переборками двойного борта/поперечными переборками (2)

1.4.4.15 Коэффициенты концентрации напряжений на фланцах несимметричных ребер жесткости на панелях, испытывающих воздействие боковой нагрузки, K_{n1} и K_{n2}, как показано на *рис. С.1.6*, должны приниматься равными:

$$K_{n1} = \frac{1 + \lambda\beta}{1 + \lambda\beta^2\psi}$$ на кромке фланца;

$$K_{n2} = \frac{1 + \lambda\beta}{1 + \lambda\beta^2\psi}$$ на стенке;

K_{n2} обычно используется при анализе усталости концевых соединений продольных конструктивных элементов,

где β $1 - \frac{2b_g}{b_f}$ для составных профилей;

$1 - \frac{t_{w-net50}}{b_f}$ для катанных угловых профилей;

b_g ширина фланца от осевой линии стенки, мм, см. *рис. С.1.7*;

$t_{w\text{-}net50}$ толщина нетто стенки, мм;

h_w высота стенки ребра жесткости, см. *рис. С.1.7*, мм;

λ коэффициент, как указано в *1.4.4.17*;

ψ отношение между моментом сопротивления сечения стенки ребра жесткости с пояском полосового сечения, рассчитанном на уровне пояска, и моментом сопротивления сечения ребра жесткости в сборе;

$1 - \frac{d_w^2 t_{w-net50}}{4 Z_{net50} 10^3}$ может использоваться как приближенная величина;

Z_{net50} момент сопротивления сечения ребра жесткости, включая полную ширину присоединенного пояска, *s*, относительно нейтральной оси, нормальной к стенке ребра жесткости, мм^3. Он должен рассчитываться, исходя из полной толщины, уменьшенной на $0{,}5t_{corr}$.

1.4.4.16 Формулировки не относятся непосредственно к бульбовым профилям. Для них необходимо рассматривать эквивалентный составной профиль, см. *рис. С.1.8*. Предполагаемый составной фланец должен иметь такие же свойства, что и фланец бульба в отношении площади поперечного сечения и момента инерции относительно вертикальной оси и положения нейтральной оси. Для полособульбов должны быть определены размеры эквивалентного составного профиля. Несколько примеров приведены в *табл. С.1.2*.

1.4.4.17 Для неразрезных ребер жесткости (с жестко заделанными концами) коэффициент λ на опорах должен определяться следующим образом:

$$\lambda = \frac{3\left(1 + \frac{\eta}{280}\right)}{1 + \frac{\eta}{40}},$$

где $\eta = \dfrac{l_{bdg}^4 10^{12}}{b_f^3 t_{f-net50} h_{stf}^2 \left(\dfrac{4 h_{stf}}{t_{w-net50}^3} + \dfrac{s}{t_{p-net50}^3} \right)}$;

l_{bdg} эффективный пролет при изгибе продольного ребра жесткости, мм;
b_f ширина фланца, мм;
$t_{f\text{-}net50}$ толщина нетто фланца, мм;
h_{stf} высота стенки ребра жесткости, включая высоту свободного пояска, мм;
$t_{w\text{-}net50}$ толщина нетто стенки, мм;
$t_{p\text{-}net50}$ толщина нетто листа, мм;
s ширина листа между ребрами жесткости, мм.

Рис. С.1.6
Напряжение изгиба в симметричном и несимметричном ребрах жесткости с одинаковой площадью стенки и полки

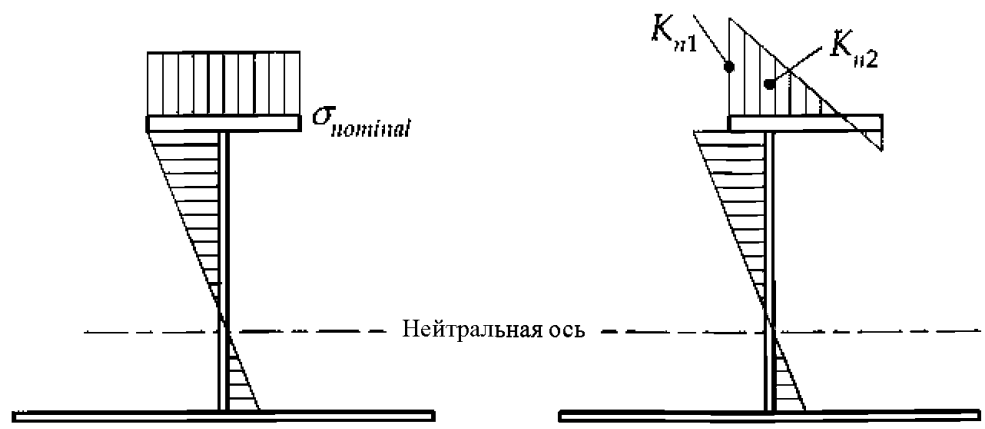


Рис. С.1.7
Геометрия ребра жесткости

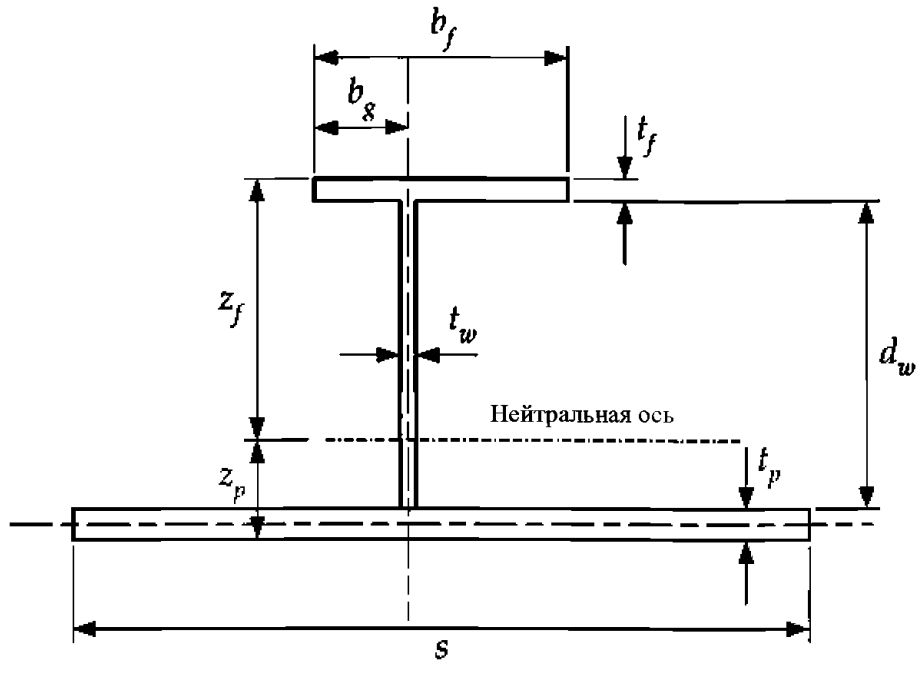


Рис. С.1.8
Бульбовый профиль и эквивалентный составной фланец

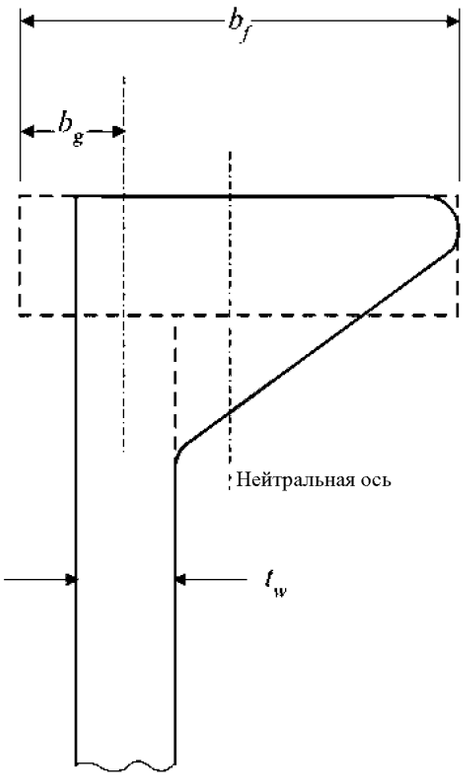


Таблица С.1.2

Размеры составного профиля, эквивалентного полособульбу

Полособульб		**Эквивалентная составная планка**		
Высота (мм)	**Толщина стенки t_w (мм)**	**b_f (мм)**	**t_f (мм)**	**b_g (мм)**
200	9 – 13	$t_w + 24{,}5$	22,9	$(t_w + 0{,}9)/2$
220	9 – 13	$t_w + 27{,}6$	25,4	$(t_w + 1{,}0)/2$
240	10 – 14	$t_w + 30{,}3$	28,0	$(t_w + 1{,}1)/2$
260	10 – 14	$t_w + 33{,}0$	30,6	$(t_w + 1{,}3)/2$
280	10 – 14	$t_w + 35{,}4$	33,3	$(t_w + 1{,}4)/2$
300	11 – 16	$t_w + 38{,}4$	35,9	$(t_w + 1{,}5)/2$
320	11 – 16	$t_w + 41{,}0$	38,5	$(t_w + 1{,}6)/2$
340	12 – 17	$t_w + 43{,}3$	41,3	$(t_w + 1{,}7)/2$
370	13 – 19	$t_w + 47{,}5$	45,2	$(t_w + 1{,}9)/2$
400	14 – 19	$t_w + 51{,}7$	49,1	$(t_w + 2{,}1)/2$
430	15 – 21	$t_w + 55{,}8$	53,1	$(t_w + 2{,}3)/2$

1.4.4.18 Для каждого случая нагрузки компоненты сложных локальных напряжений, обусловленные одновременным воздействием нагрузок от динамического волнового давления и динамического давления в танке, должны комбинироваться с компонентами общих напряжений, вызванных волновым изгибом эквивалентного бруса.

1.4.4.19 Полный комбинированный размах напряжений, S, определяется следующим образом:

$$S = f_{SN}|f_1 S_v + f_2 S_h + f_3 S_e + f_4 S_i| \quad \text{Н/мм}^2,$$

где f_1, f_2, f_3, f_4 коэффициенты комбинации диапазонов напряжений, представляющие фазовую корреляцию между полным диапазоном напряжений и компонентой каждого диапазона напряжений, которые находятся в промежутке между 1,0 и –1,0, как указано в *табл. С.1.2 – С.1.4*. Если коэффициент больше 1,0, он должен приниматься равным 1,0. Если коэффициент меньше –1,0, он должен приниматься равным –1,0;

f_{SN} 1,06, коэффициент, учитывающий узлы в комбинированном защищенном и незащищенном окружениях;

S_v соответствующий диапазон напряжений, обусловленных изгибающим моментом, действующим в вертикальной плоскости, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.7*;

S_h соответствующий диапазон напряжений, обусловленных изгибающим моментом, действующим в горизонтальной плоскости, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.9*;

S_e диапазон напряжений, вызванных внешним волновым давлением или внутренним давлением в танке, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.12*;

S_i диапазон напряжений, вызванных внешним волновым давлением или внутренним давлением в танке, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.12*.

1.4.4.20 Коэффициенты комбинации диапазонов напряжений, f_1, f_2, f_3 и f_4, которые должны относиться к следующим зонам, приведены в *табл. С.1.2 – С.1.4*:

а) зона М: средняя зона. Эта зона простирается на полную длину всех танков, если абсцисса центра тяжести располагается в промежутке от 0,35L до 0,8L от кормового перпендикуляра;

б) зона А: кормовая зона. Эта зона начинается с середины танка, расположенного непосредственно в корму от зоны М, и простирается в корму, включая все кормовые танки;

в) зона F: носовая зона. Эта зона начинается с середины танка, расположенного непосредственно в нос от зоны М, и простирается в нос, включая все носовые танки;

г) зона АТ: кормовая переходная зона между зоной М и зоной А. Коэффициенты комбинации размахов напряжений должны рассчитываться с помощью линейной интерполяции между коэффициентами комбинации размахов напряжений для зон М и А.

д) зона FT: носовая переходная зона между зоной М и зоной F. Коэффициенты комбинации размахов напряжений должны рассчитываться с помощью линейной интерполяции между коэффициентами комбинации размахов напряжений для зон М и F.

Примечание

Если балластные танки, средние и бортовые грузовые танки не имеют одинаковую длину, например, если имеется отстойный танк, среднее положение для определения протяженности зон должно приниматься в середине танка большей длины.

Таблица С.1.3

Коэффициенты комбинации размахов напряжений для зоны М

	Местонахождение ребра жесткости		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
1	2	3	4	5	6	7	8
В балласте	Наружная днищевая обшивка	a_i	–0,49	–0,49	–1,04	–1,13	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,97	0,17	0,87	0,56	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–1,48	0,50	–0,64	0,72	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,94	0,40	0,72	0,04	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	1,70	–1,00	–1,10	–0,60	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,65	1,15	0,95	0,70	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	–0,18	0,34	0,00	–0,30	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,90	0,22	0,00	0,74	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	–1,70	–,090	0,00	1,04	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,15	0,70	0,00	0,45	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	1,40	0,50	0,00	–1,94	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,40	0,00	0,00	1,94	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	–,015	1,05	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,02	–0,27	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная продольная переборка ниже $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная продольная переборка выше $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–0,20	1,30	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,10	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Продольная переборка выше $D/2$	a_i	0,20	–1,30	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,80	1,40	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
В грузу	Наружная днищевая обшивка	a_i	–0,43	0,78	–0,77	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,98	0,13	0,75	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–0,29	–0,47	0,14	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,19	0,78	0,92	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	1,77	–0,05	–1,20	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,84	0,57	1,59	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	–0,71	1,13	0,00	0,55	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,03	0,18	0,00	–0,18	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	–0,80	–1,70	0,00	2,60	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,55	1,20	0,00	–0,35	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	1,90	0,30	0,00	–1,70	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,80	0,20	0,00	1,80	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	–0,26	1,40	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,02	–0,16	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–1,40	0,00	0,00	1,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,75	0,00	0,00	0,60	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная продольная переборка выше $D/2$	a_i	1,70	0,00	0,00	–1,20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,80	0,00	0,00	1,70	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–0,60	0,40	0,00	1,10	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,40	0,00	0,05	$a_i(z/D)+b_i$
	Продольная переборка выше $D/2$	a_i	0,60	–0,84	0,00	–0,84	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,40	1,02	0,00	1,02	$a_i(z/D)+b_i$

Таблица С.1.4

Коэффициенты комбинации размахов напряжений для зоны А

	Местонахождение ребра жесткости		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
1	2	3	4	5	6	7	8
В балласте	Наружная днищевая обшивка	a_i	–0,20	–0,80	1,20	1,50	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,00	0,50	–0,25	1,07	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–1,00	1,20	–0,80	2,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,20	0,00	0,60	–0,40	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	3,40	–1,20	–2,80	0,80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–2,00	1,20	1,60	0,20	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	–0,50	–1,90	0,00	0,30	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	–0,05	0,60	0,00	0,85	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	8,20	–2,80	0,00	0,20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–3,50	1,00	0,00	0,90	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	0,60	2,80	0,00	–0,50	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,30	–1,80	0,00	1,25	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	0,00	0,70	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–1,20	2,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,10	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка выше $D/2$	a_i	1,50	–2,70	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,25	2,35	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Диаметральная переборка ниже $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная переборка выше $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
В грузу	Наружная днищевая обшивка	a_i	–2,20	1,50	2,60	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,20	–0,15	–0,30	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–1,20	–1,20	0,60	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,30	0,80	0,70	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	3,00	–0,30	–0,50	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–1,80	0,35	1,25	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	–1,00	2,30	0,00	–0,20	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,00	–0,10	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	–0,80	1,00	0,00	1,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,20	0,00	0,00	0,50	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	3,20	–1,00	0,00	–0,80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–1,80	1,00	0,00	1,40	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	–0,10	1,50	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	–0,15	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–0,80	0,30	0,00	1,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,00	0,50	0,00	0,30	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка выше $D/2$	a_i	0,20	–0,90	0,00	–0,08	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,50	1,10	0,00	0,84	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Диаметральная переборка ниже $D/2$	a_i	–1,10	0,00	0,00	0,44	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,60	0,00	0,00	0,80	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная переборка выше $D/2$	a_i	1,30	0,00	0,00	–0,56	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	–0,60	0,00	0,00	1,30	$a_i(z/D)+b_i$

Таблица С.1.5

Коэффициенты комбинации размахов напряжений для зоны F

	Местонахождение ребра жесткости		f_1	f_2	f_3	f_4	f_i
1	2	3	4	5	6	7	8
В балласте	Наружная днищевая обшивка	a_i	–0,90	1,00	2,40	–1,20	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,85	–0,10	–1,00	1,10	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–0,60	–0,40	1,00	–1,80	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,00	0,50	–0,15	0,90	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	0,60	–0,90	–2,70	3,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,60	0,75	1,70	–1,50	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	–0,30	–1,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	0,90	0,25	0,00	1,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	–12,00	–2,40	0,00	1,20	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	5,00	1,00	0,00	0,50	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	3,00	1,40	0,00	–0,90	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–2,50	–0,90	0,00	1,55	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	0,00	1,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	– 0,10	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–1,80	1,90	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,30	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка выше $D/2$	a_i	1,80	–2,50	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,50	2,20	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Диаметральная переборка ниже $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная переборка выше $D/2$	a_i	0,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
В грузу	Наружная днищевая обшивка	a_i	–0,60	–0,15	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	–0,45	0,05	1,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка и скула ниже $D/2$	a_i	–1,20	0,18	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,00	–0,03	1,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Наружная бортовая обшивка выше $D/2$	a_i	4,00	0,02	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–2,60	0,05	1,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Второе дно и нижняя опора	a_i	2,80	2,20	0,00	–1,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	–0,80	–0,30	0,00	1,10	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта ниже $D/2$ (включая обшивку скуловой цистерны)	a_i	10,20	1,60	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–4,50	–0,60	0,00	1,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Внутренняя обшивка борта выше $D/2$	a_i	–0,80	–0.90	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,65	0,00	1,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Палуба и верхняя опора	a_i	–0,24	1,80	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	1,00	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка ниже $D/2$	a_i	–2,10	–1,00	0,00	1,50	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	1,15	0,60	0,00	0,35	$a_i(z/D)+b_i$
	Внутренняя продольная переборка выше $D/2$	a_i	0,40	–0,30	0,00	–0,40	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	–0,10	0,25	0,00	1,30	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
	Диаметральная переборка ниже $D/2$	a_i	–0,60	0,00	0,00	0,00	$a_i(z/D)+b_i$
		b_i	0,25	0,00	0,00	1,00	$a_i(z/D)+b_i$
	Диаметральная переборка выше $D/2$	a_i	0,20	0,00	0,00	0,00	$a_i(\lvert y\rvert/B)+b_i$
		b_i	–0,15	0,00	0,00	1,00	$a_i(z/D)+b_i$

1.4.5 Выбор кривых S –N

1.4.5.1 Надежность сварных стальных соединений по отношению к усталостной прочности характеризуется кривыми S –N, которые определяют соотношение между диапазонами напряжений, приложенных к данному узлу, и числом циклов нагрузки с постоянной амплитудой до разрушения.

1.4.5.2 Для элементов конструкции судна кривые S – N выражаются:

$$S^m N = K_2,$$

где S диапазон напряжений, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.19*;
N прогнозируемое число циклов до разрушения при диапазоне напряжений S;
m константа, зависящая от материала и типа сварного шва, типа нагрузки, геометрической конфигурации и окружающих условий (воздух или забортная вода), как указано в *1.4.5.5*;
K_2 константа, зависящая от материала и типа сварного шва, типа нагрузки, геометрической конфигурации и окружающих условий (воздух или забортная вода), как указано в *1.4.5.5*.

1.4.5.3 Экспериментальные кривые S–N определяются их средней усталостной долговечностью и средним квадратическим отклонением. Средняя кривая S–N дает уровень напряжений S, при котором элемент конструкции разрушится с уровнем вероятности 50 % после N циклов нагрузки. Кривые S–N, рассматриваемые в настоящих Правилах, основываются на статистическом анализе соответствующих экспериментальных данных и показывают два средних квадратических отклонения ниже средних линий.

1.4.5.4 Если не имеется результатов прямых экспериментальных замеров, кривые S–N, описанные в *1.4.5.5 – 1.4.5.16*, должны использоваться для оценки усталостной прочности элементов конструкции.

1.4.5.5 Как показано на *рис. С.1.9*, базовые расчетные кривые состоят из линейных соотношений между $\log(S)$ и $\log(N)$, которые должны выражаться следующим образом. Кривые S–N имеют изменение обратного наклона от m до $m + 2$ при $N = 10^7$ циклов (что соответствует диапазону напряжений S_q).

$$\log(N) = \log(K_2) - m\log(S),$$

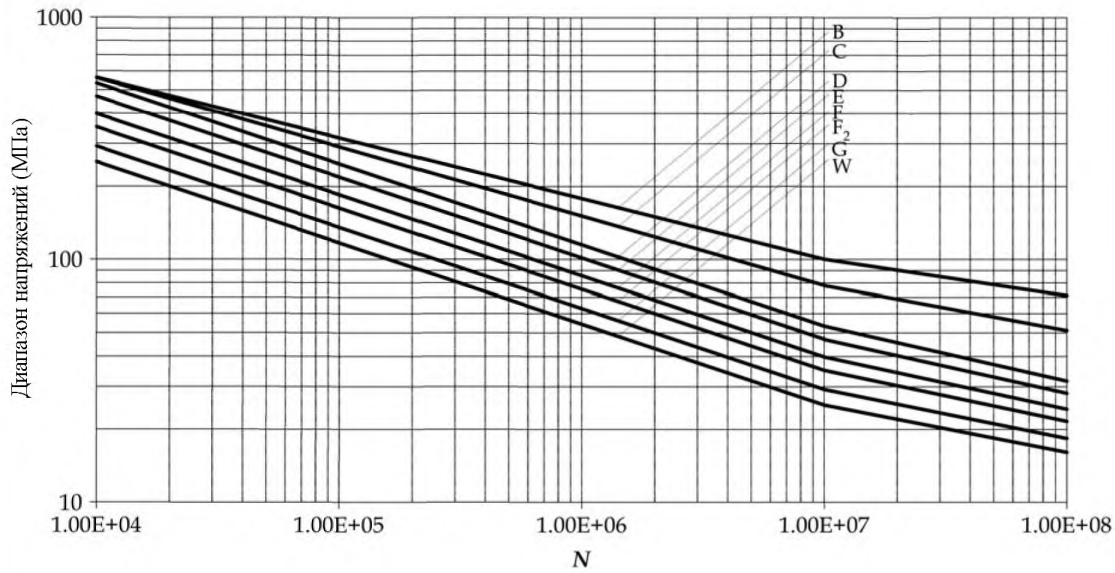
где $\log(K_2) = \log(K_1) - 2\delta$;
N прогнозируемое число циклов до разрушения при дипазоне напряжений S;
K_1 константа, относящаяся к средней кривой S-N, как указано в *табл. С.1.6*;
δ среднее квадратическое отклонение $\log(N)$;
m обратный наклон кривой S-N, как указано в *табл. С.1.6*;
S_q диапазон напряжений, соответствующий 10^7 циклам кривой S-N, Н/мм^2, как указано в *табл. С.1.6*.

Таблица С.1.6

Данные по базовой кривой S–N в воздухе

Класс	K_1			m	Среднее квадратическое отклонение		K_2	S_q Н/мм^2
		log_{10}	log_e		log_{10}	log_e		
B	2,343 E15	15,3697	35,3900	4,0	0,1821	0,4194	1,01E15	100,2
C	1,082 E14	14,0342	32,3153	3,5	0,2041	0,4700	4,23E13	78,2
D	3,988E12	12,6007	29,0144	3,0	0,2095	0,4824	1,52E12	53,4
E	3,289E12	12,5169	28,8216	3,0	0,2509	0,5777	1,04E12	47,0
F	1,726E12	12,2370	28,1770	3,0	0,2183	0,5027	0,63E12	39,8
F_2	1,231E12	12,0900	27,8387	3,0	0,2279	0,5248	0,43E12	35,0
G	0,566E12	11,7525	27,0614	3,0	0,1793	0,4129	0,25E12	29,2
W	0,368E12	11,5662	26,6324	3,0	0,1846	0,4251	0,16E12	25,2

Рис. С.1.9
Основные расчетные кривые S–N в воздухе



1.4.5.6 Класс кривой S–N, выбранный для определения накопленных усталостных повреждений, *DM*, должен соответствовать используемым методам оценки усталости и типу анализируемого элемента.

1.4.5.7 Экспериментальные кривые S–N показывают соотношение между диапазоном номинальных напряжений и числом циклов до разрушения. Поэтому, при использовании этих кривых S-N рассчитанные напряжения должны соответствовать номинальным напряжениям, используемым для создания этих кривых.

1.4.5.8 Базовые кривые S–N, используемые в приложении для оценки усталости концевых соединений продольного ребра жесткости, описаны в *1.4.5.5* с параметрами кривой S-N, представленными в *табл. С.1.6*.

1.4.5.9 Как правило, кривые S–N могут быть откорректированы, чтобы учесть следующее:

а) влияние средних напряжений;
б) влияние толщины листа;
в) усовершенствование сварного шва;
г) влияние окружающей среды.

1.4.5.10 Диапазон напряжений может быть уменьшен в зависимости от того, является ли среднее напряжение напряжением растяжения или напряжением сжатия. В случае, когда можно продемонстрировать, что существует напряжение сжатия, которое можно определить количественно, влияние среднего напряжения можно учесть, приняв размах напряжений, равный компоненте растяжения плюс 60 % компоненты сжатия. При определении среднего уровня напряжения должны использоваться фактический изгибающий момент на тихой воде и гидростатические волновое давление и давление в танке для состояния судна в полном грузу или состояния судна в балласте.

1.4.5.11 Полный диапазон напряжений, учитывающий влияние среднего напряжения, должен определяться следующим образом:

$S_{Ri} = \sigma_{tensile} - 0{,}6\,\sigma_{compressive}$, если $\sigma_{compressive} < 0$, а $\sigma_{tensile} > 0$;

$S_{Ri} = S$, если $\sigma_{compressive} \geq 0$;

$S_{Ri} = 0{,}6S$, если $\sigma_{compressive} \leq 0$,

где $\sigma_{tensile}$ среднее напряжение плюс половина диапазона напряжений, Н/мм^2, = $\sigma_{mean} + S/2$;
$\sigma_{compressive}$ среднее напряжение плюс половина диапазона напряжений, Н/мм^2, = $\sigma_{mean} - S/2$;
σ_{mean} среднее напряжение, обусловленное статическим состоянием судна в полном грузу или в балласте, Н/мм^2, см. *1.3.2*.

Для подхода с номинальным напряжением S и σ_{mean} должны быть рассчитаны следующим образом:

S полный диапазон сложных напряжений, Н/мм^2, как указано в *1.4.4.19*;

$\sigma_{mean} = \sigma_{hg} + \sigma_{ex} + \sigma_{in}$;

σ_{hg} среднее напряжение, обусловленное изгибающим моментом эквивалентного бруса, полученное при σ_v из *1.4.4.6* с $M_{wv\text{-}v\text{-}amp}$, принимаемого за фактический изгибающий момент на тихой воде для состояния судна в полном грузу или в балласте, см. *1.3.2*;

σ_{hg} среднее напряжение, возникающее в результате изгиба эквивалентного бруса получается при использовании σ_v из *1.4.4.6* с $M_{wv\text{-}v\text{-}amp}$ взятой в качестве фактического изгибающего момента на тихой воде для состояния судна в полном грузу или в балласте, в зависимости от того, что применимо, см. *1.3.2*;

σ_{ex} среднее местное изгибающее напряжение, возникающее благодаря внешнему давлению спокойного моря, если применимо. σ_{ex} получается при помощи σ_{2A} из *1.4.4.11* с P, рассчитанной на основании фактической осадки для состояния судна в полном грузу или в балласте, в зависимости от того, что применимо, см. *1.3.2*, где $P = P_{hys}$ см. *раздел 7/2.2.2.1*;

σ_{in} среднее местное изгибающее напряжение из-за статического давления танка, если применимо. σ_{in} получается при помощи σ_{2A} из *1.4.4.11* с P, рассчитанной на основании давления напора на верх танка и содержимого танка для состояния судна в полном грузу или в балласте, в зависимости от того, что применимо, см. *1.3.2*, где $P = P_{in\text{-}tk}$, см. *раздел 7/2.2.3.1*.

Примечания:

1. P считается отрицательным, когда давление действует на бок листа и положительным, когда давление действует на бок ребра жесткости. Это дает сжимающее напряжение с отрицательным знаком.

2. Когда ребро жесткости находится на границе между двумя грузовыми танками, тогда среднее напряжение должно приниматься как чистое напряжение, действующее на ребро жесткости.

3. Принимается, что балластные и грузовые танки полностью полны. Плотность жидкости принимается в соответствии с *разделом 7/2.2.3.1*, но плотность груза должна быть не меньше 0,9 т/м^3.

Для метода напряжения в жестких точках в *подразделе 2* среднее напряжение σ_{mean} должно рассчитываться путем применения соответствующих статических нагрузок к модели, построенной методом конечных элементов для состояния судна в полном грузу или в балласте, в зависимости от того, что применимо.

В качестве альтернативного варианта, вместо применения к модели, построенной по методу конечных элементов, статических нагрузок, общая область напряжений должна рассчитываться в соответствии с *2.4.2.8*.

1.4.5.12 Усталостная характеристика элемента конструкции зависит от толщины элемента. Для одного и того же размаха напряжений усталостная прочность узла может уменьшаться при увеличении толщины элемента. Этот эффект (называемый также «масштабным эффектом») обусловлен местной геометрией кромки лицевой поверхности сварного шва с учетом толщины примыкающих листов и градиента напряжения по толщине. Базовые расчетные кривые S–N применимы к толщинам, которые не превышают эталонную толщину 22 мм. Для элементов с толщиной более 22 мм кривая S–N для элемента узла с толщиной нетто, t_{net50}, мм, должна определяться следующим образом:

$$\log(N) = \log(K_2) - m\log\left(\frac{S_{Ri}}{(22/t_{net50})}\right),$$

где $\log(K_2) = \log(K_1) - 2\delta$;

N предсказанное число циклов до разрушения при диапазоне напряжений S;

K_1 константа, относящаяся к средней кривой S-N, как указано в *табл. С.1.6*;

δ среднее квадратическое отклонение $\log(N)$;

m обратный наклон кривой S-N, как указано в *табл. С.1.6*;

S_{Ri} диапазон напряжений, как указано в *1.4.5.11*, Н/мм^2.

1.4.5.13 Если продольные ребра жесткости представляют собой полосовые или полособульбовые профили, эффект толщины, описанный в *1.4.5.12*, не может быть применим.

1.4.5.14 Преимущества шлифовки кромки сварного шва не должны учитываться на стадии проектирования. Однако это может быть особо рассмотрено, если требуемая усталостная долговечность не может быть удовлетворена после того, как будут исчерпаны все практические проектные способы, как например, увеличение местной толщины, удлинение катета углового шва и модификация местной геометрии и т.д. В этом случае, все сведения по стандарту шлифовки, включая ее протяженность, параметры чистоты поверхности, окончательный профиль шва и качество выполнения шлифовки, а также критерии приемлемости должны быть представлены для рассмотрения вместе со вспомогательными расчетами, показывающими предложенный фактор для рассчитанной усталостной долговечности. Протяженность шлифовки и ссылка на стандарт шлифовки должны быть указаны на применимых чертежах.

1.4.5.15 Базовые расчетные кривые S–N, как показано на *рис. С.1.9*, действительны для узлов, находящихся на воздухе, или элементов, подвергающихся воздействию забортной воды, но в достаточной степени защищенных от коррозии эффективным покрытием. Для незащищенных узлов в забортной воде базовые кривые S–N должны быть редуцированы фактором 2 по усталостной долговечности.

1.4.5.16 В настоящем Приложении используются базовые кривые S-N, как показано на *рис. С.1.9*. Для учета того факта, что узел будет проводить часть времени в защищенной окружающей среде и часть времени – в незащищенной окружающей среде, в расчет полного диапазона номинальных напряжений был введен коэффициент f_{SN}.

1.5 Классификация элементов конструкции

1.5.1 Общие положения

1.5.1.1 Общая классификация элементов конструкции должна производиться с использованием *табл. С.1.7*, где конструкция притупленных концов и подкрепляющих бракет соответствует показанным на *рис. С.1.10*. Когда предлагаются альтернативные конструкции, достаточность с точки зрения усталостной прочности должна быть продемонстрирована с использованием соответствующего анализа методом конечных элементов. См. *2.1.1.3*.

1.5.1.2 В случае, когда в районе днища, борта и внутреннего корпуса приняты беспиллерсные конструкции, рекомендуются конфигурации вырезов, показанные на *рис. С.1.11*.

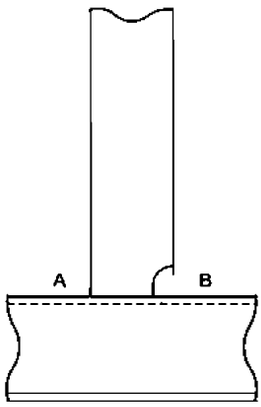
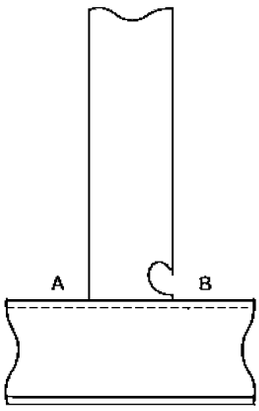
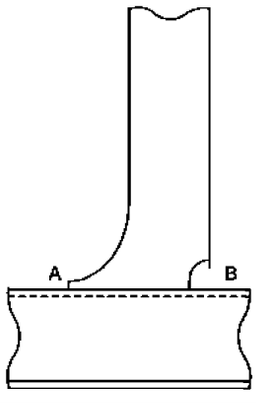
Таблица С.1.7

Классификация элементов конструкции

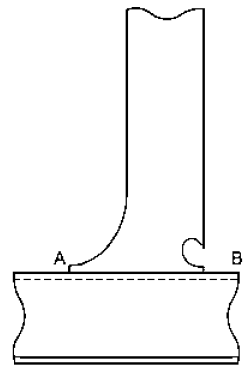
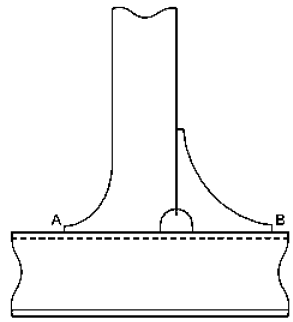
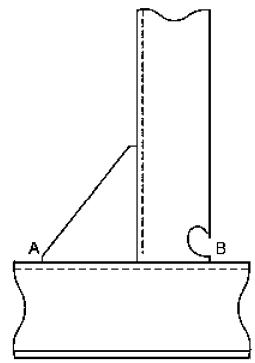
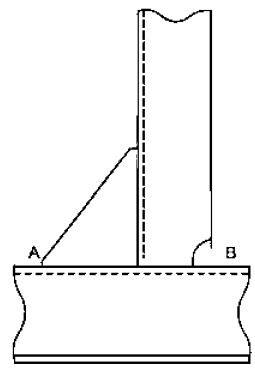
Примечания: 1. Если длина крепления меньше или равна 150 мм, кривая S–N должна быть повышена на один класс по сравнению с указанными в таблице. Например, если класс, указанный в таблице, – F2, класс кривой повышается до F. Длина крепления определяется как длина крепления сварным швом на пояске продольного ребра жесткости без вычета дугообразного выреза. 2. Если между кромкой полки ребра жесткости и поверхностью крепления имеется минимальный зазор менее 10 мм, например, если продольное ребро жесткости представляет собой полосовой профиль, кривая S–N должна быть уменьшена на один класс по сравнению с указанными в таблице. Например, если класс, показанный в таблице – F, класс кривой уменьшается до F2, если класс, показанный в таблице, – F2, класс кривой уменьшается до G. Это также относится к несимметричным профилям, например, бульбовым или угловым профилям, где указанный зазор не может быть достигнут. 3. Соединения внахлестку (крепления, приваренные к стенке продольных конструктивных элементов) не должны приниматься, и поэтому, они не охвачены таблицей. 4. Для соединений, имеющих притупленный конец, класс F может быть использован, если соединения подвергаются воздействию, главным образом, осевых нагрузок. Ребра жесткости, установленные на палубе и находящиеся в пределах 0,1*D* ниже кромки палубы, считаются удовлетворяющими этому условию. 5. Для соединений, снабженных заделкой вокруг пояска, может использоваться класс F, если конструкция подвергается воздействию осевых нагрузок. Ребра жесткости, установленные на палубе и находящиеся в пределах 0,1*D* ниже кромки палубы, считаются удовлетворяющими этому условию.

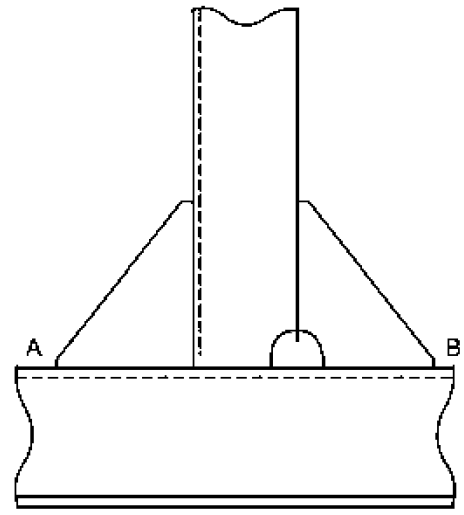
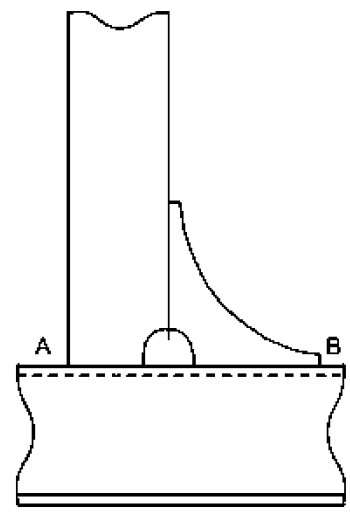
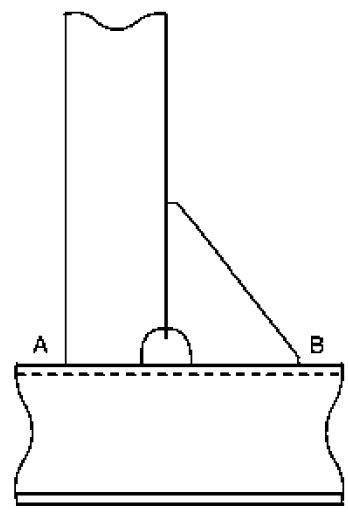
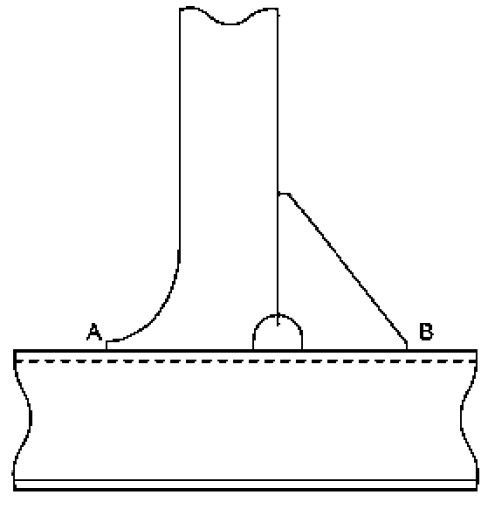
6. ID32 может применяться в случаях, когда кницы для подкрепления стенки рамной балки отсутствуют или не присоединены к свободному пояску продольного ребра жесткости. В динамической, смоченной волнами, зоне на борту и ниже, в районе днища и в районе внутреннего корпуса ниже 0,1 *D* от кромки палубы, могут быть приняты водонепроницаемая отделочная планка или, в качестве альтернативы, тщательно рассчитанная конфигурация вырезов, как показано на *рис. С.1.11*. Другие конструкции должны подвергаться соответствующей оценке усталости с использованием сравнительных, основанных на анализе методом конечных элементов точек концентрации напряжений. Для тщательно рассчитанной конфигурации вырезов, как показано на *рис. С.1.11* или равноценной, класс кривой S–N может быть повышен до E.

7. В районе других участков, кроме тех, которые упоминаются в примечании 6, т.е. борт выше смоченной волнами зоны, участки палубы, внутреннего корпуса в пределах 0,1 *D* от кромки палубы, в случаях, когда кницы для подкрепления стенки рамной балки отсутствуют или не соединены со свободным пояском продольного ребра жесткости, допускаются обычные конфигурации прорезей и должен применяться класс F, как описано в ID32.

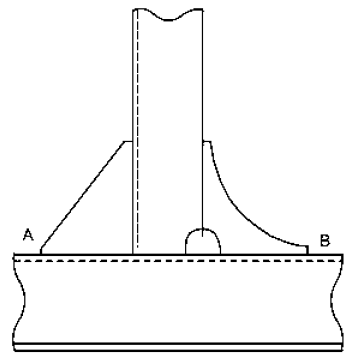
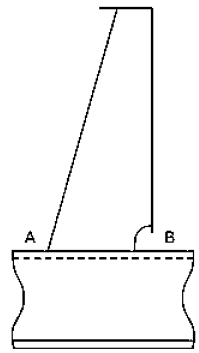
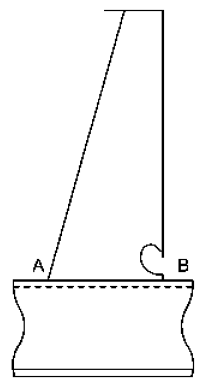
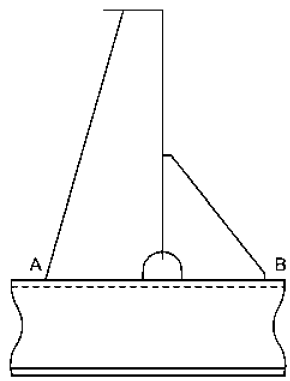
ID	**Тип соединения**	**Критические местоположения Примечания (1), (2), (3)**	
		A	**B**
1	2	3	4
		F2	F2
		F2	F2(4)
		F	F2

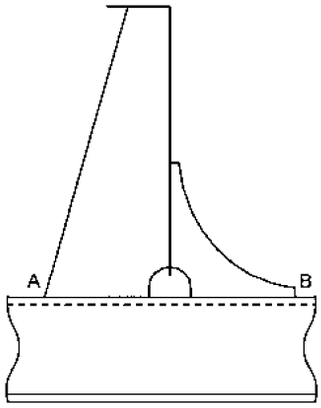
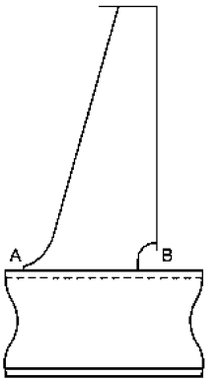
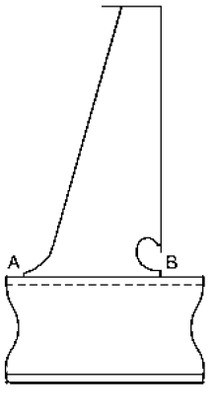
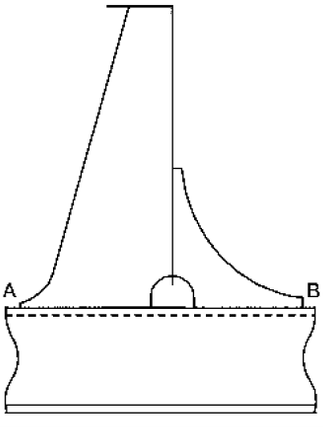
Продолжение табл. С.1.7

1	2	3	4
		F	F2(4)
		F	F
		F2	F2(4)
		F2	F2

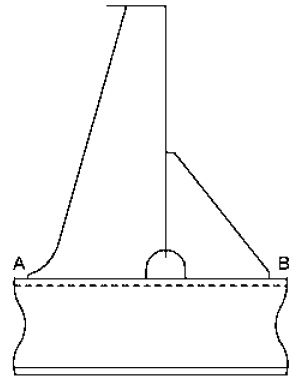
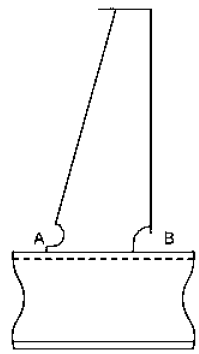
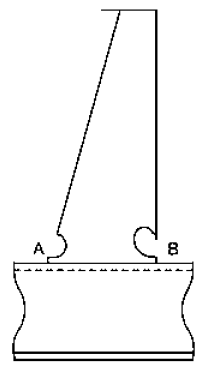
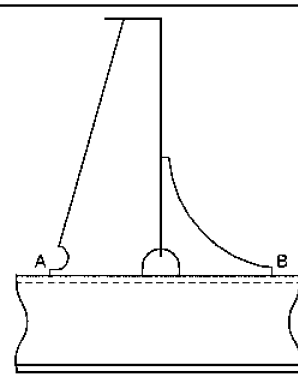
1	2	3	4
		F2	F2
		F2	F
		F2	F2
		F	F2

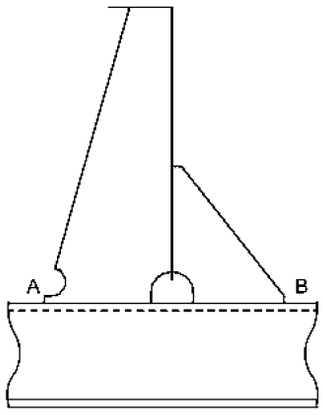
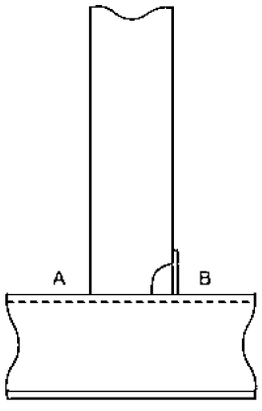
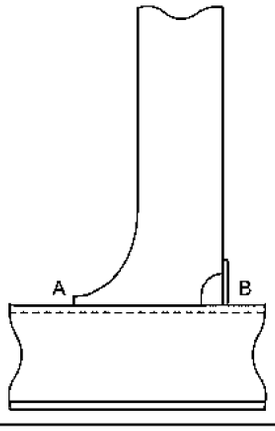
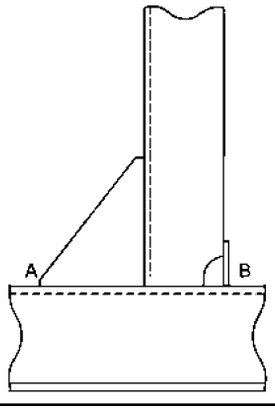
Продолжение табл. С.1.7

1	2	3	4
		F2	F
		F2	F2
		F2	F2(4)
		F2	F2

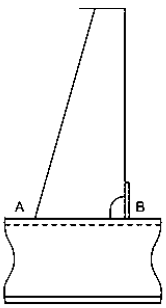
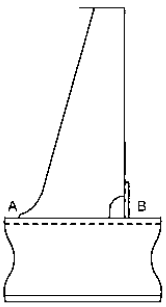
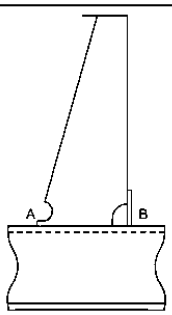
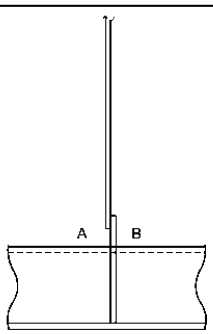
1	2	3	4
		F2	F
		F	F2
		F	F2(4)
		F	F

Продолжение табл. С.1.7

1	2	3	4
		F	F2
		F	F2
		F	F2(4)
		F	F

1	2	3	4
		F	F2
		F2	F2 (только 5)
		F	F2 (только 5)
		F2	F2 (только 5)

Продолжение табл. С.1.7

1	2	3	4
		F2	F2 (только 5)
		F	F2 (только 5)
		F	F2 (только 5)
		F2 (только 5)	F2 (только 5)

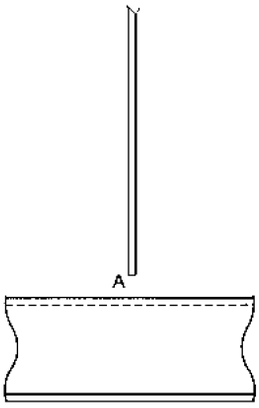
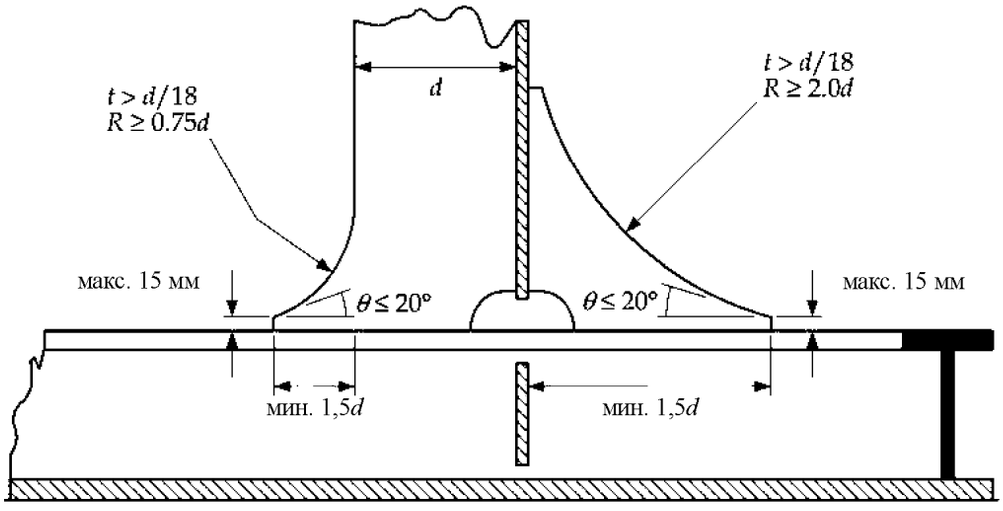
1	2	3	4
		F (только 6, 7)	Не применимо

Рис. С.1.10
Детальная конструкция притупленных концов и подкрепляющих бракет

Рекомендуемая конструкция притупленных концов и подкрепляющих бракет пиллерсов ребер жесткости



Рекомендуемая конструкция притупленных концов и подкрепляющих книц триппинг бракет

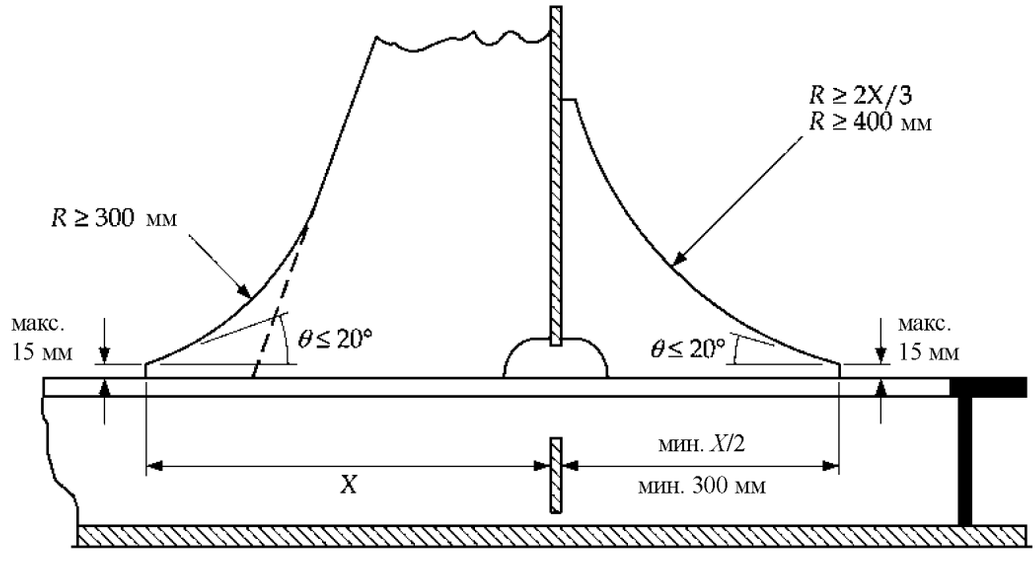


Рис. С.1.10 (продолжение)
Детальная конструкция притупленных концов и подкрепляющих бракет

Рекомендуемая альтернативная конструкция притупленных концов триппинг бракет

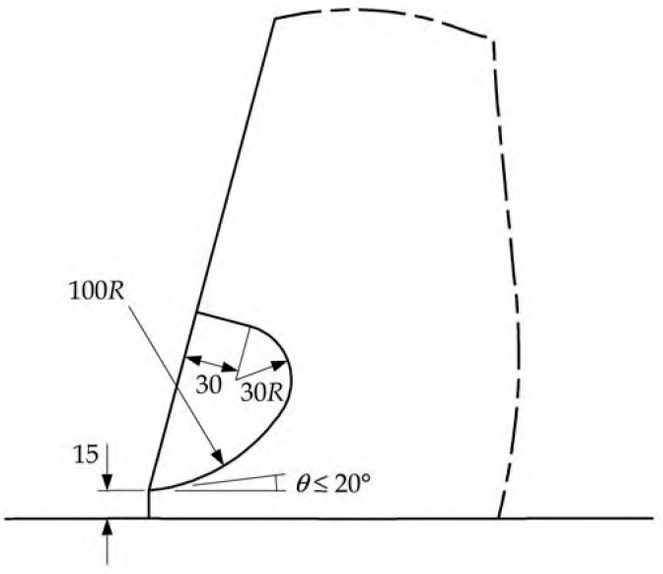


Рисунок С.1.11
Конфигурация вырезов

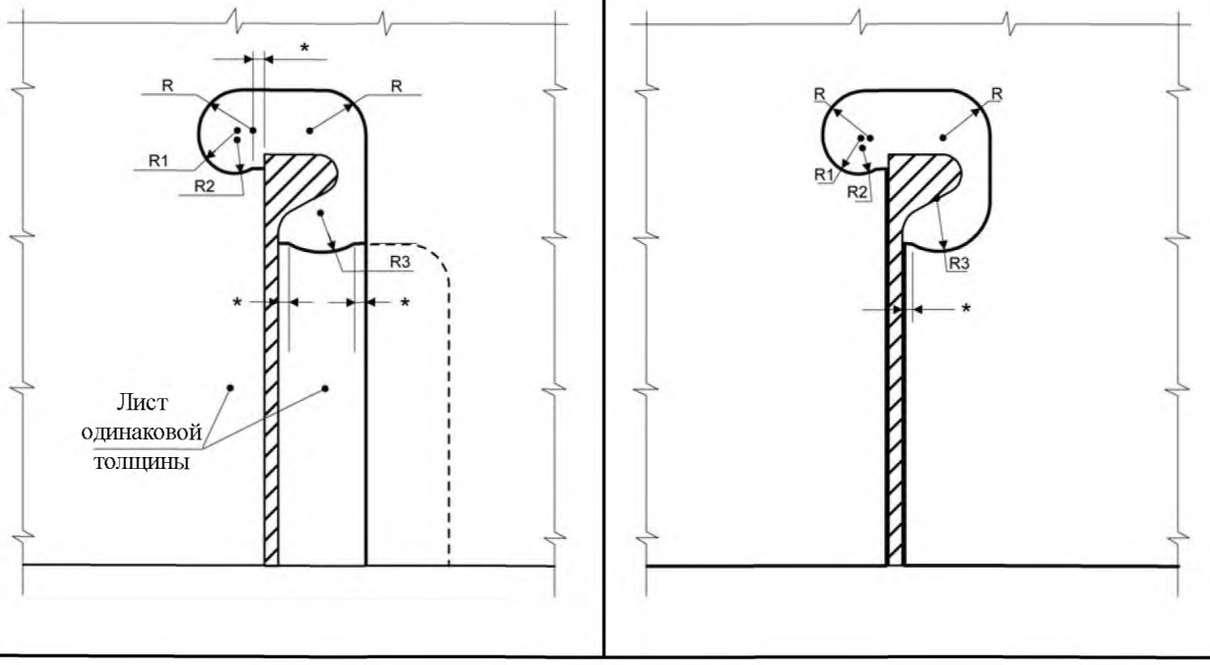
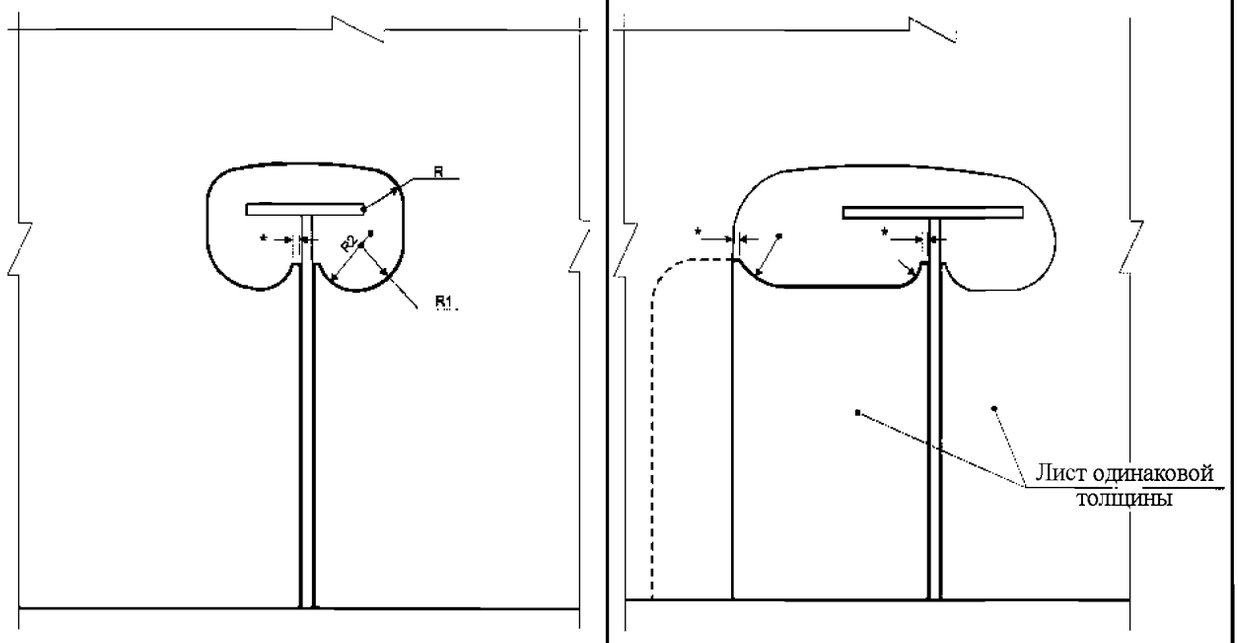


Рис. С.1.11 (продолжение)
Конфигурация вырезов



Примечания:

1. Притупленные концы, отмеченные "*", должны иметь размеры, соответствующие длине катета углового шва, так чтобы можно было обеспечить плавный переход от сварного шва к закругленной части. Макс. 15 мм.

2. В районе борта и днища рекомендуются конфигурации 2 или 3. В качестве альтернативы, может быть рассмотрена возможность применения листовых, приваренных встык планок.

1.6 Прочие элементы конструкции

1.6.1 Дугообразные вырезы в районе соединений блоков

1.6.1.1 Дугообразные вырезы в районе соединений блоков в зоне грузовых танков, расположенные на прочной палубе и на расстоянии до 0,1*D* ниже кромки палубы, должны выполняться в соответствии с *рис. С.1.12*, если технические требования, приведенные в *разделе 8/1.5.1.3* для класса F2, не удовлетворяются.

2 Подход, основанный на напряжении в зоне концентрации напряжений (на основе конечных элементов)

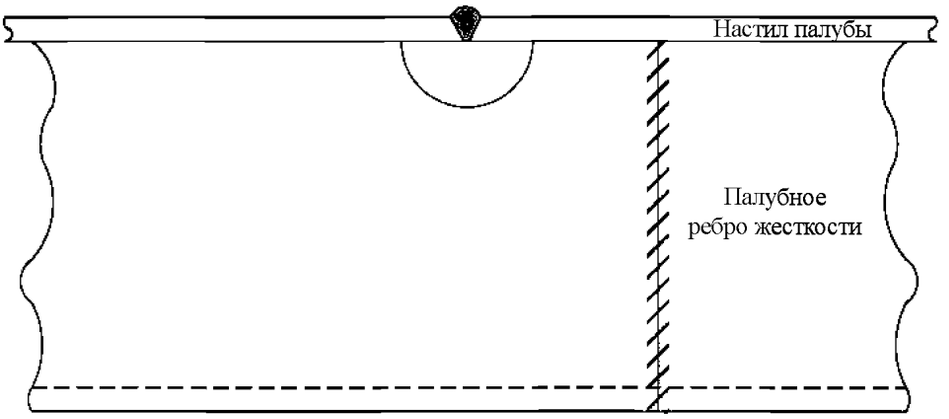
2.1 Общие положения

2.1.1 Область применения

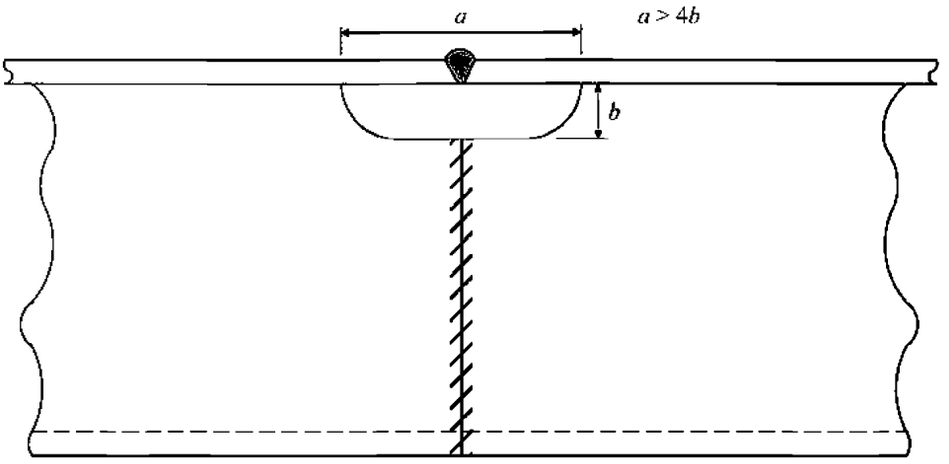
2.1.1.1 Метод, описанный в данном Разделе, относится к подходу, основанному на напряжении в зоне концентрации напряжений на основе конечных элементов, с использованием анализа усталости сварных изломов между настилом второго дна и листом скуловой цистерны. Для подхода, основанного на номинальном напряжении, используется аналогичный прикладной метод, описанный в *подразделе 1*, за исключением случаев, указанных в нижеследующих разделах.

Рис. С.1.12
Приварка палубных ребер жесткости в районе соединений блоков

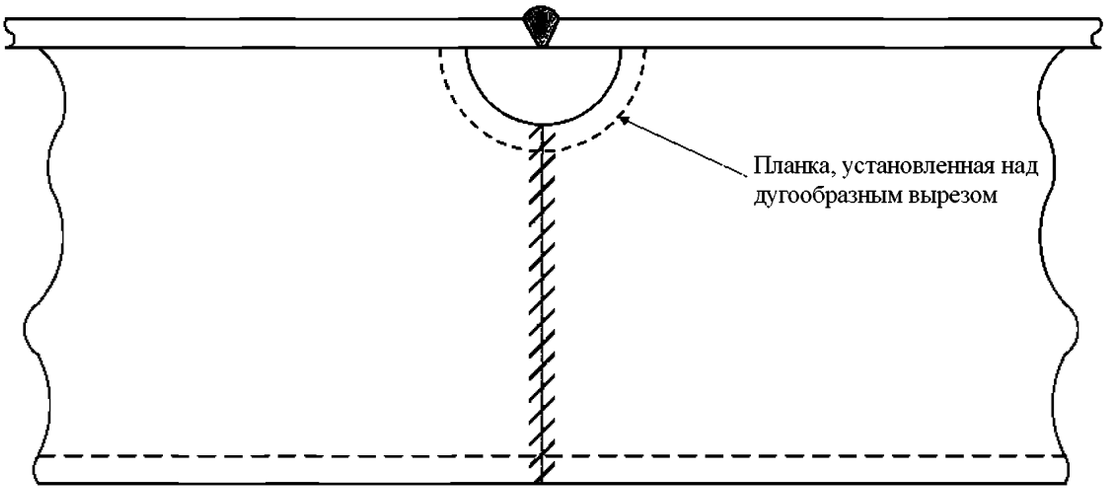
(I) Стыковка ребер со смещением



(II) Удлиненный дугообразный вырез на ребре жесткости



(III) Стягивающий дугообразный вырез с планкой



Примечание

Геометрия дугообразного выреза, альтернативная показанной в варианте II, может быть допущена при условии демонстрации удовлетворительной усталостной долговечности, основывающейся на нагрузках эквивалентного бруса с учетом коэффициента концентрации дополнительных напряжений в районе сварного шва, определенного с помощью метода конечных элементов с использованием сетки с малым шагом и применяя кривую S–N класса D.

2.1.1.2 Если наклонное соединение между настилом второго дна и наклонным листом является гнутым, то усталостная оценка напряжений в зоне концентрации не требуется, если соблюдается стандарт конструкции детали, описанный в *2.5.1.2*. Если предлагается альтернативная конструкция для демонстрации равноценности детали с точки зрения усталостной прочности, должен использоваться соответствующий анализ методом конечных элементов.

2.1.1.3 Если подход, основанный на напряжении в зоне концентрации, считается необходимым для демонстрации достаточности концевого соединения продольного ребра жесткости вместо подхода, основанного на номинальном напряжении, как правило, следует использовать методику, описанную в *подразделе 1*, за исключением того, что значения S_v, S_h, S_i и S_e должны определяться непосредственно из анализа методом конечных элементов с использованием линейной экстраполяции до средней линии крепления и затем до положения кромки лицевой поверхности шва. Может применяться кривая S-N согласно *2.4.3*.

2.1.2 Предположения

2.1.2.1 Сделанные предположения указаны в *1.1.2*.

2.2 Модель коррозии

2.2.1 Толщина нетто

2.2.1.1 Толщины нетто, указанные в *разделе 6/3*, должны быть включены в основанное на конечных элементах представление моделей устойчивости конструкции, как описано в *приложении В/4*.

2.3 Нагрузки

2.3.1 Общие положения

2.3.1.1 Динамические волновые давления и давления в танках должны учитываться для основанного на конечных элементах усталостного анализа изломов между настилом второго дна и с наклонной обшивкой, см. *1.3.6* и *1.3.7*.

2.4 Расчет усталостного повреждения

2.4.1 Определение усталостной прочности

2.4.1.1 Должна применяться методика, описанная в *1.4*.

2.4.1.2 Параметр распределения вероятности по Вейбуллу, применимый к сварным изломам между настилом второго дна и наклонной обшивкой, ξ, должен определяться по формуле:

$$\xi = 1{,}1 - 0{,}35\,\frac{1 - 100}{300},$$

где L длина согласно Правилам, м, как указано в *разделе 4/1.1.1.1*.

2.4.2 Используемые напряжения

2.4.2.1 Для определения напряжений в зоне концентрации должен использоваться анализ с применением сетки с очень малым шагом 2D или 3D совместно с анализом с применением сетки с крупным шагом 3D. В очень напряженных участках, в частности, вблизи разрывов целостности конструкции уровень напряжений зависит от размеров элементов по причине большого градиента напряжений. Если поле напряжений более сложное, чем одноосное поле, должны использоваться напряжения вблизи расположения потенциальной трещины. Должна использоваться равномерная сетка с плавным переходом и с отсутствием резких изменений размеров ячеек.

2.4.2.2 Нижеприведенное определяет общую основу для моделирования местных конструкций:

а) напряжения в зоне концентрации должны рассчитываться с использованием идеализированного сварного соединения без нарушений прямолинейности. Конечноэлементная сетка должна иметь достаточно малый шаг вблизи точки концентрации, так чтобы напряжения и градиенты напряжений можно было бы определить с достаточной точностью;

б) обшивка, стенки и свободные пояски главных и вспомогательных несущих элементов моделируются с помощью 4-х узловых тонких элементов наружной обшивки. В случае резких градиентов напряжений должны использоваться 8-ми узловые тонкие элементы наружной обшивки;

в) когда используются тонкие элементы наружной обшивки, конструкция должна моделироваться на середине поверхности листов. Для практических целей примыкающие листы различной толщины могут рассматриваться как выровненные по медиане, т.е. расположение в шахматном порядке в районе изменения толщины не требуется;

г) отношение длины к ширине элементов должно быть не более трех в районе зоны концентрации напряжений;

д) размер элементов, расположенных вблизи зоны концентрации напряжений, должен быть совместим с толщиной нетто конструктивного элемента;

е) напряжения должны рассчитываться на поверхности листа с целью учета изгибающего момента листа, когда это уместно.

2.4.2.3 Подробное описание расчета напряжений в зоне концентрации с использованием конечноэлементного моделирования приведено в *приложении В/4*.

2.4.2.4 Как правило, напряжения элемента определяются в Гауссовых точках интеграции. В зависимости от типа элемента, может оказаться необходимым выполнить несколько интерполяций для определения фактического напряжения в рассматриваемом положении зоны концентрации напряжений.

2.4.2.5 Для критических элементов конструкции напряжения в зоне концентрации, в значительной степени, зависят от конечноэлементной модели, используемой для представления конструкции. Методики, альтернативные описанным здесь, для определения напряжения в зоне концентрации должны быть подтверждены или документированы путем ссылки на имеющиеся результаты усталостных испытаний для аналогичных элементов конструкции.

2.4.2.6 Напряжение в зоне концентрации определяется как поверхностное напряжение на расстоянии $0{,}5t$ от кромки лицевой поверхности шва, как показано на *рис. С.2.1*. Это напряжение может быть определено путем линейной интерполяции, с использованием соответствующего напряжения на 1-м и 2-м элементе от пересечения конструкции.

2.4.2.7 Компоненты размаха напряжений по направлению, перпендикулярному сварному шву, в результате нагрузок, определенных в *2.3*, должны рассчитываться на основе *приложения В/4*. Общий диапазон полного напряжения, S, должен приниматься равным:

$S = f_{model}|0{,}85\,(S_{e1} + 0{,}25\,S_{e2}) - 0{,}3\,S_i|$ для состояния в полном грузу;

$S = f_{model}|0{,}85\,(S_{e1} - 0{,}25\,S_{e2})|$ для состояния в балласте,

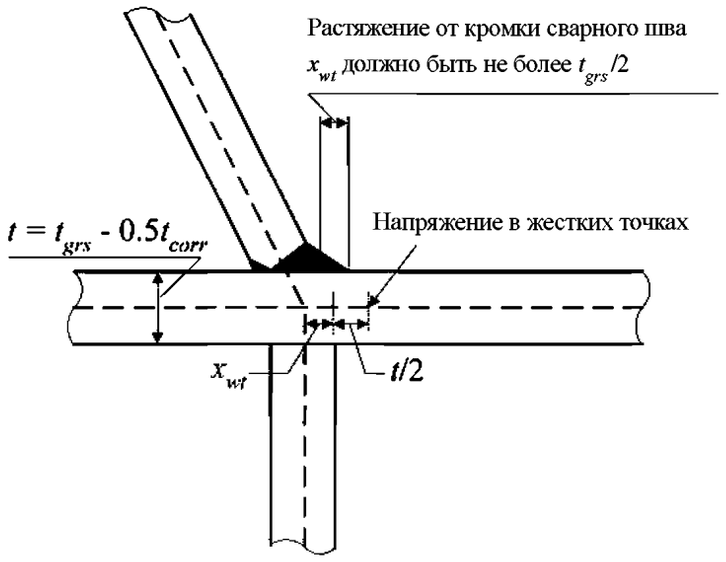
где S_{e1} диапазон напряжений вследствие динамического волнового давления, приложенного к конечноэлементной модели на борту, если анализируется наклон скулы, Н/мм^2, см. *табл. В.4.1*;

S_{e2} диапазон напряжений вследствие динамического волнового давления, приложенного к конечноэлементной модели, на борту корпуса, если наклон скулы не анализируется, Н/мм^2, см. *табл. В.4.1*;

S_i диапазон напряжений вследствие динамического давления в танке, приложенного к конечноэлементной модели, Н/мм^2, см. *приложение В/4.5.2.4* и *табл. В.4.1*;

f_{model} 1,0, если конечноэлементная модель выполнена с учетом толщины нетто для усталости, т.е. с использованием прибавки на коррозию $0{,}25t_{corr}$ для конечноэлементной модели, за исключением критических мест (в районе наклона и в пределах 500 мм во всех направлениях), где используется прибавка на коррозию $0{,}5t_{corr}$;
0,95, если использованная конечноэлементрая модель для оценки прочности отличается от указанной выше. В конечноэлементной модели для оценки прочности используется прибавка на коррозию $0{,}5t_{corr}$ для всей модели, включая конструкцию в районе критического места.

Рис. С.2.1
Напряжение в зоне концентрации



2.4.2.8 Для учета влияния среднего напряжения вместо приложения статических нагрузок к конечно-элементной модели общий диапазон напряжений может определяться по следующей формуле:

$S_{Ri} = 1{,}0\,S$ для состояния в полном грузу;

$S_{Ri} = 0{,}6\,S$ для состояния в балласте,

где S общий диапазон полных напряжений, как определено в *2.4.2.7.*

2.4.3 Выбор кривых

2.4.3.1 Анализ усталости должен выполняться с применением кривой S-N класса D для сварных деталей, если напряжение в зоне концентрации рассчитывается согласно *2.4.2.8.* Приемлемым является учет толщины согласно *1.4.5.12.*

2.5 Стандарт конструкции детали

2.5.1 Наклоны скулы

2.5.1.1 Детали конструкции для сварных наклонов между наклонной обшивкой и настилом второго дна должны быть такими, как показано на *рис. С.2.2.*

Рекомендации:

Рис. С.2.3 может использоваться в качестве варианта для увеличения усталостной прочности в соединении скуловой цистерны.

2.5.1.2 Детали конструкции для изгибного наклона между настилом второго дна и наклонной обшивкой должны быть, как показано на *рис. С.2.4.*

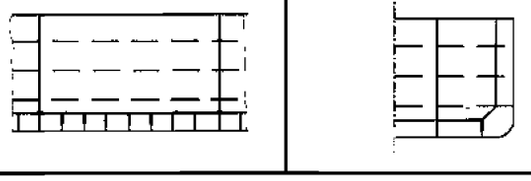
2.5.2 Опорная пятка горизонтального стрингера поперечной переборки

2.5.1. Детали конструкции, показанные на *рис. С.2.5*, рекомендуются для уменьшения уровня напряжения и увеличения усталостной прочности в положении пятки горизонтального стрингера между обшивкой герметичной или отбойной переборки и обшивкой внутренней продольной переборки корпуса. Эта рекомендация рассматривается совместно с анализом конечного элемента малой сеткой, как требуется в *приложении В/3.1.3.*

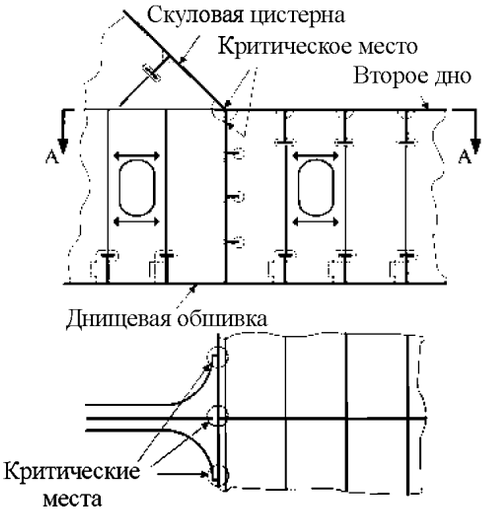
Рис. С.2.2
Деталь соединения в районе излома скуловой цистерны. Без кницы

Соединения флоров в междудонных цистернах со скуловыми цистернами
Угловые соединения скуловой цистерны, использующие сварку второго дна с наклонным листом скуловой цистерны

Критические участки

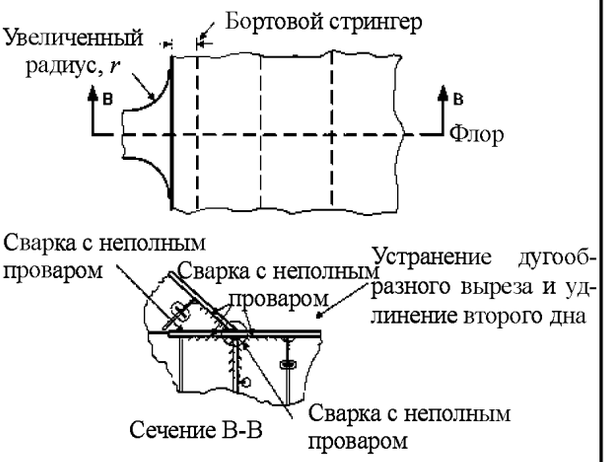


Критические места



Сечение А-А

Стандарт А конструкции детали



Сварной шов между листом скуловой цистерны и настилом второго дна должен быть зачищен и зашлифован. Видимые подрезы должны быть устранены.

Степень зачистки с обеих сторон флора

Крупнотоннажные танкеры	250 мм
Танкеры типа Suezmax	200 мм
Танкеры типа Aframax	150 мм
Продуктовозы	100 мм

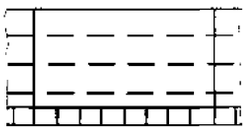
Примечания:
1. Для сварки с неполным проваром приемлемо притупление, составляющее масимум 1/3 толщины примыкающего листа, см. *раздел 6/5.3.4*.
2. Шлифовка может не производиться в танке №1, в котором по причине формы расстояние между флорами уменьшено.
3. Шлифовка может не производиться для соединений в районе излома в местах расположения поперечных переборок или на флорах, примыкающих к поперечной переборке.

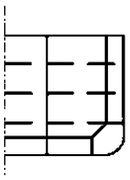
Минимальное требование	Как минимум, должен быть применен стандарт конструкции детали А или В. Особое внимание должно быть обращено, когда угол скуловой цистерны превышает 50 градусов. Зашлифованная поверхность должна быть защищена наносимым полосами покрытием из подходящего состава красок, если нижний участок грузовых танков в районе излома скуловой цистерны не имеет покрытия.
Критическое место	Соединения наклонного листа скуловой цистерны к настилу второго дна в районе флоров. Соединения флоров с настилом второго дна и бортовым стрингером в районе углов скуловой цистерны.
Стандарт конструкции детали	Устранение дугообразных вырезов в районе углов скуловой цистерны, удлинение настила второго дна для уменьшения уровня полных напряжений, возникающих под действием внешнего циклического гидродинамического давления, инерционного давления груза и нагрузок на эквивалентный брус. Толщина соединительной кницы должна быть близкой толщине второго дна в районе излома.
Строительные допуски	Медиана наклонного листа скуловой цистерны должна находиться в одной плоскости с медианой стрингера с принятым допуском 0,15t в направлении диаметральной линии в районе флора, где t – толщина второго дна.
Требования к сварке	Сварка с неполным проваром (наклонного листа скуловой цистерны с настилом второго дна). Сварной шов с неполным проваром (соединение флоров с настилом второго дна и бортовыми стрингерами, соединение поперечных элементов рамной конструкции скуловой цистерны с наклонным листом, с настилом второго дна и с бортовыми стрингерами в районе углов скуловой цистерны).

Рис. С.2.3
Вариант: Деталь соединения в районе излома скуловой цистерны. С кницей

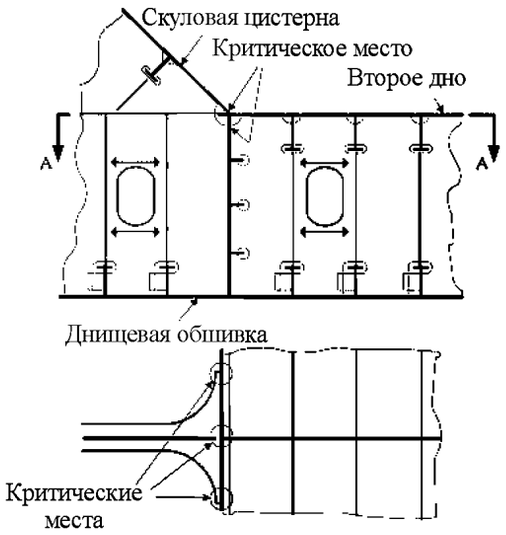
Соединения флоров в междудонных танках со скуловыми цистернами
Угловые соединения скуловой цистерны, использующие сварку второго дна с наклонным листом скуловой цистерны

Критические участки



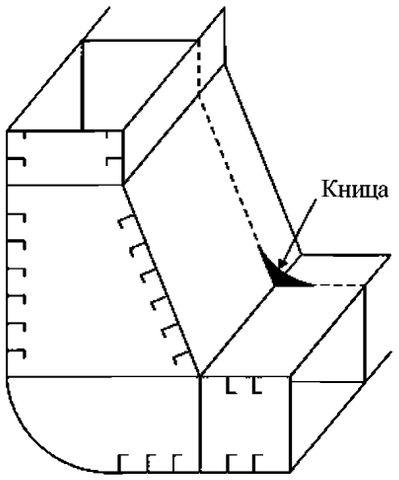


Критические места



Сечение А-А

Стандарт В конструкции детали



Примечания:
1. Кница должна быть установлена внутри грузового танка.
2. Кница должна простираться, приблизительно, до первого продольного элемента конструкции.
3. Концы кницы должны быть притупленными.
4. Сварка с полным проваром на концах кницы.
5. Материал кницы должен быть тем же, что и материал второго дна.
6. Устойчивость кницы должна проверяться по формуле:

$$\frac{d}{t_{bkt}} < 21\sqrt{\frac{235}{\sigma_{yd}}},$$

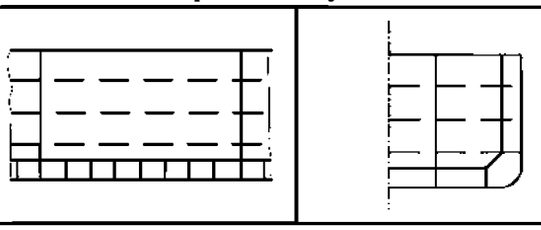
где d максимальная высота кницы, как указано в *табл. 10.2.3;*
t_{bkt} толщина кницы;
σ_{yd} заданный минимальный предел текучести материала.

Минимальное требование	Как минимум, должен быть применен стандарт конструкции детали А или В. Особое внимание должно быть обращено, если угол скуловой цистерны превышает 50°. Зашлифованная поверхность должна быть защищена наносимым полосами из подходящего состава красок, если нижний участок грузовых танков в районе излома скуловой цистерны не имеет покрытия.
Критическое место	Соединения наклонного листа скуловой цистерны с настилом второго дна в районе флоров. Соединения флоров с настилом второго дна и бортовым стрингером в районе углов скуловой цистерны.
Стандарт конструкции детали	Устранение дугообразных вырезов в районе углов скуловой цистерны, удлинение настила второго дна для уменьшения уровня полных напряжений, возникших под действием циклического внешнего гидродинамического давления, инерционного давления груза и нагрузок на эквивалентный брус. Толщина соединительной кницы должна быть близкой толщине второго дна в районе излома.
Строительные допуски	Медиана наклонного листа скуловой цистерны должна находиться в одной плоскости с медианой стрингера при принятом допуске 0,15t в направлении диаметральной линии в районе флора, где t – толщина второго дна.
Требования к сварке	Сварка с неполным проваром (наклонный лист скуловой цистерны с настилом второго дна). Сварной шов с неполным проваром (соединение флоров с настилом второго дна и с бортовым стрингером, соединение поперечных элементов рамной конструкции скуловой цистерны с наклонным листом, с настилом второго дна и с бортовыми стрингерами в районе углов скуловой цистерны)

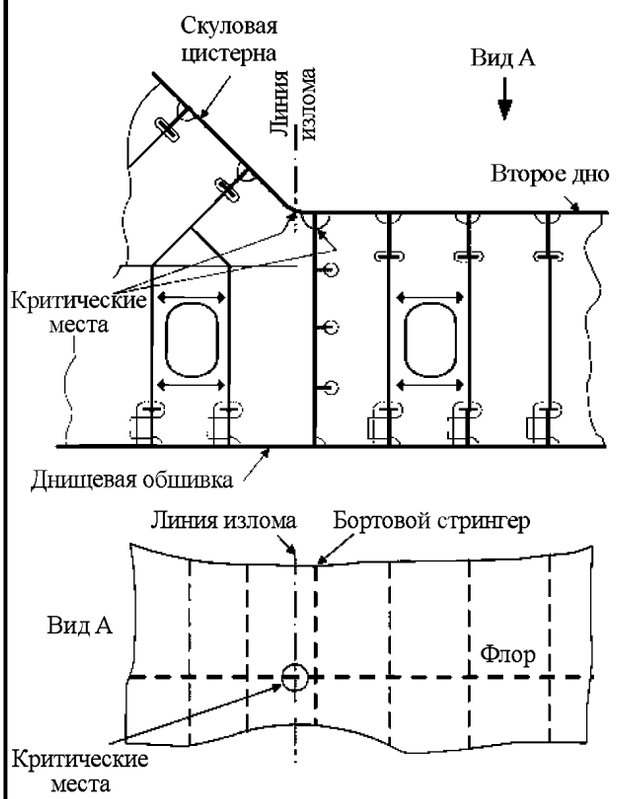
Рис. С.2.4
Деталь соединения в районе излома скуловой цистерны

Соединения флоров в междудонных танках со скуловыми цистернами
Угловые соединения скуловой цистерны, использующие сварку второго дна с наклонным листом скуловой цистерны в районе изгибного излома

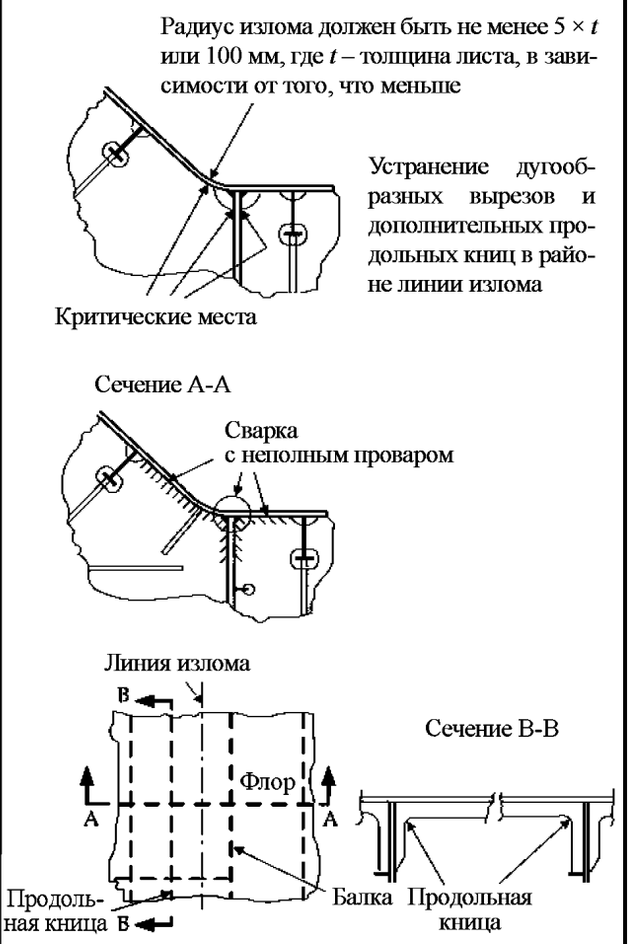
Критические участки



Критические места



Стандарт конструкции детали С



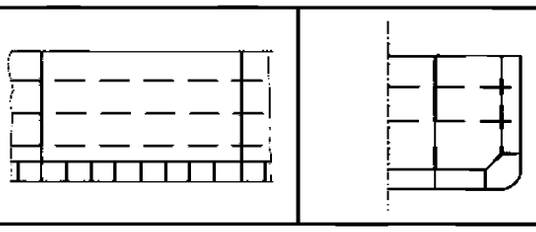
Примечание
Продольные кницы могут не устанавливаться, если можно продемонстрировать, что балка обеспечивает достаточную опору на линии излома.

Минимальное требование	Как минимум, должен применяться стандарт конструкции детали С.
Критическое место	Соединения бортового стрингера с настилом второго дна в районе флоров. Соединения флора и поперечного элемента рамной конструкции в скуловой цистерне с настилом второго дна и с бортовыми стрингерами в районе углов скуловой цистерны.
Стандарт конструкции детали	Устранение дугообразных вырезов в районе углов скуловой цистерны и дополнительных продольных книц для уменьшения пика и размаха полных напряжений, возникающих под действием цикличного внешнего гидродинамического давления, инерционного давления груза и общей нагрузки на эквивалентный брус.
Строительные допуски	Повышенный стандарт соосности. Номинальное расстояние между центрами толщины двух примыкающих друг к другу элементов (например, флор и стенка составной балки скуловой цистерны и дополнительные поддерживающие кницы) не должно превышать 1/3 табличной толщины элемента.
Требования к сварке	Сварка с неполным проваром (соединение бортовых стрингеров с настилом второго дна. Соединение флоров с настилом второго дна и бортовыми стрингерами. Соединение поперечных элементов рамной конструкции скуловой цистерны с наклонным настилом второго дна и с бортовыми стрингерами в районе углов скуловой цистерны).

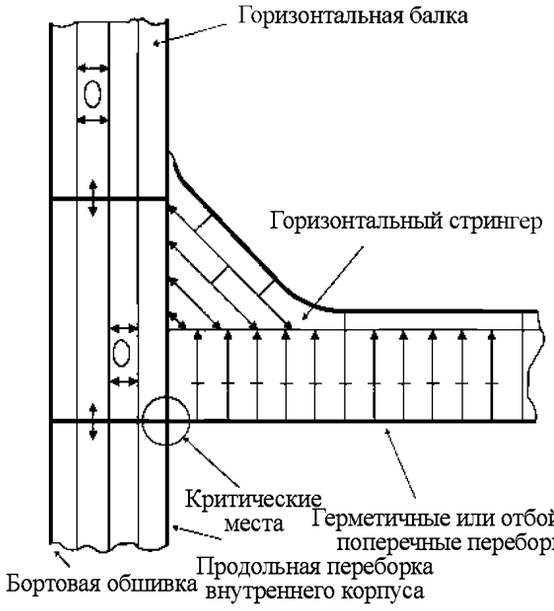
Рис. С.2.5
Вариант: Опорная пятка горизонтального стрингера поперечной переборки

Соединения горизонтальной балки грузовых танков с двойным бортом с поперечными переборками
Соединение горизонтального стрингера по поверхности герметичной поперечной или отбойной переборки с внутренней продольной переборкой корпуса

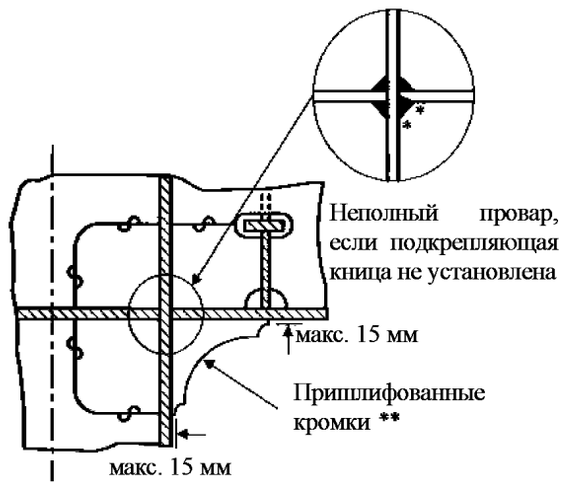
Критические участки



Критические места



Неполный провар, если подкрепляющая кница не установлена



Примечания:
* Если не ставятся кницы, то сварочный шов должен быть пришлифованным.
** Если требуется установка свободного пояска, то рекомендуется, чтобы конструкция была такой, чтобы уменьшить концентрацию напряжений на торцах свободного пояска (например, закруглениях и носовой части без усиления).

Критическое расположение	Пересечение стенок горизонтального стрингера поперечной переборки горизонтальной балки двойного борта грузового танка, образующих квадратные углы.
Улучшение конструкции детали	Удаление дугообразных вырезов в районе крестообразных соединений и установка листовой вставки из стали марки D, с минимальной толщиной 7 мм в дополнение к толщине, требующейся по Правилам, для уменьшения пиковых напряжений, а также диапазона результирующих напряжений, возникающих в результате циклического внутреннего инерционного давления груза и полных нагрузок на эквивалентный брус. Дополнительно требуется установка подкрепляющей кницы без усиленных опор подходящего размера. Рекомендуется использование книц следующих размеров: • VLCC: 800×800×30 R600 с опорами без усиления, как показано на рисунке. • танкеры типа Suezmax и Aframax: 800×600×25 R550 с опорами без усиления, как показано на рисунке, с длинным плечом в районе внутренней обшивки. Действительную конструкцию кницы следует проверить с помощью анализа с использованием сетки с малым шагом, согласно *приложению В/3.1.3*.
Строительные допуски	Повышенный стандарт соосности. Номинальное расстояние между центрами толщины двух соединяемых элементов не должно превышать 1/3 табличной толщины элемента.
Требования к сварке	Вставная сварная вставка с коэффициентом сварки не менее 0,44, с установкой подкрепляющей кницы или с неполным проваром, если подкрепляющая кница не установлена. Степень неполного провара зависит от продольного расстояния между элементами. Можно оставить небольшой дугообразный вырез подходящей формы, который полностью закрывается сваркой по завершению сварки без разрывов переборки, если необходимо удалить вырез.

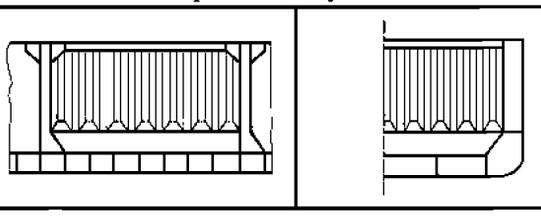
2.5.3 Соединения поперечной и продольной гофрированной переборок с нижней опорой

2.5.3.1 Улучшение конструкции детали показано на *рис. С.2.6* и рекомендуется для уменьшения уровня напряжения в месте соединения поперечной и продольной гофрированной переборок с нижней опорой. Данную рекомендацию следует рассматривать вместе с конечноэлементным анализом с использованием сетки с малым шагом, согласно *приложению В/3.1.5*.

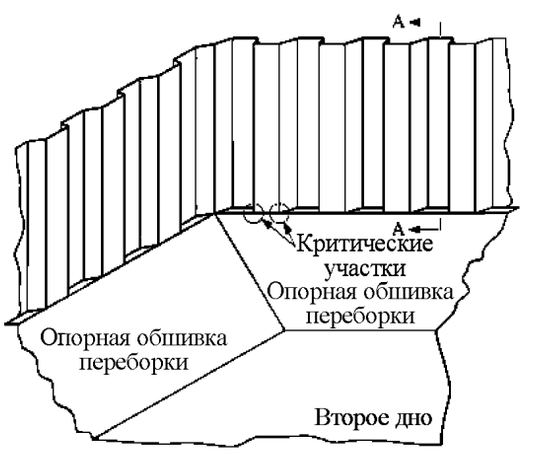
Рис. С.2.6
Соединение поперечной и продольной переборок с нижней опорой

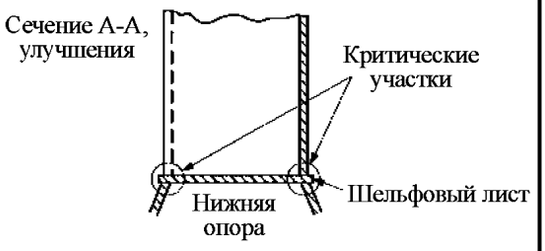
Соединение бортовых стрингеров в танках с двойными бортами и поперечных переборок
Установка высокопрочных стрингеров на горизонтальных балках на поверхности маслонепроницаемых поперечных или отбойных переборок

Критические участки

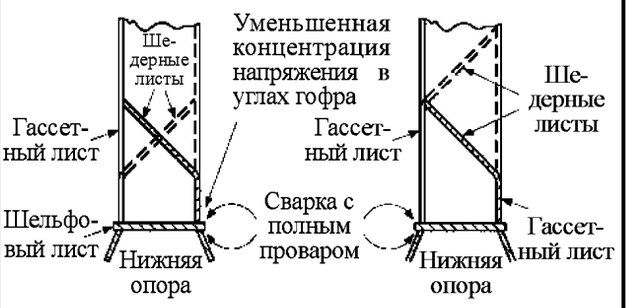


Критические места

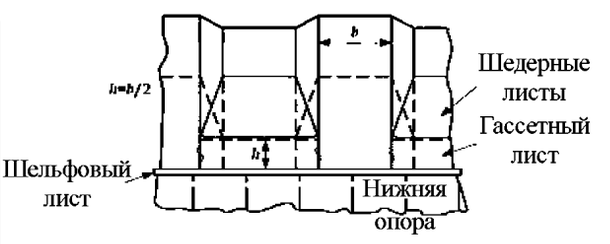




Улучшение конструкции детали



Сечение А-А, улучшения



Примечания:
* Полный провар требуется в месте соединения гофрированной переборки и листа опоры с шельфовым листом полки нижней опоры.
** При пересечении соседних шедерных листов в месте пересечения следует ставить кницу ребра жесткости.

Критическое расположение	1. Соединение гофрированной переборки с нижней опорой и шельфовым листом. 2. Соединение гофрированной переборки с шедерным листом, если установлен без гассетного листа.
Улучшение конструкции детали	1. Гассетный лист ставится на шельфовый лист соосно с поверхностью листа гофра для уменьшения концентрации напряжений в углах гофра. Минимальная высота гассетного листа берется за половину ширины фланца гофрированной переборки. 2. Для уменьшения концентрации напряжений в месте пересечения шедерных листов следует располагать шедерные листы в конфигурации, показанной на рисунке. Можно устанавливать кницу ребра жесткости в месте пересечения под шедерным листом.
Строительные допуски	Обеспечить хорошую соосность между наклонными листами нижней опоры и поверхностью гофра, насколько это возможно. Номинальное расстояние между центрами толщины двух соединяемых элементов не должно превышать 1/3 табличной толщины элемента.
Требования к сварке	Сварка с полным проваром в местах соединения гофра переборки, косынок и наклонных листов нижней опоры с листом полки нижней опоры. Рекомендуется сталь марки Z. Начало и конец сварочного шва должны быть как можно дальше, насколько это практически возможно, от углов гофра.

ПРИЛОЖЕНИЕ D. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ

1 Анализ устойчивости

1.1 Общие положения

1.1.1 Область применения

1.1.1.1 В настоящем приложении описывается метод проведения анализа устойчивости и его применение в соответствии с требованиями Правил. Метод проведения анализа устойчивости должен основываться на нелинейном методе анализа или равноценном, который предсказывает сложное поведение подкрепленных и неподкрепленных пластин.

1.1.2 Альтернативные методики

1.1.2.1 Наряду с методами общего назначения или методами прямых расчетов, которые должны использоваться, описываемыми в данном приложении, могут использоваться и альтернативные методики анализа устойчивости и предельной устойчивости, при условии что они дают результаты, сопоставимые и согласующиеся с теми, которые получены при использовании эталонной методики оценки устойчивости, приведенной в *Техническом обосновании для приложения D*, которая является основой для допустимых коэффициентов запаса по устойчивости, в *разделе 9/табл. 9.2.2*. См. также *1.1.2.3*.

1.1.2.2 Если используется альтернативная методика, документация альтернативных методологий анализа устойчивости и детальное сравнение его результатов с результатами, полученными с помощью эталонной усовершенствованной методики оценки устойчивости, приведенной в *Техническом обосновании для приложения D* и инструментальных программных средств, которые должны быть представлены для рассмотрения и одобрения.

1.1.2.3 Использование методик оценки устойчивости, альтернативных эталонной методике, допускается при условии, что альтернативная методика проверяется по контрольным примерам, указанным в *Техническом обосновании для приложения D*, и если допустимый коэффициент запаса по устойчивости, для альтернативного метода $\eta_{all-alt}$, соответствует следующему:

$$\eta_{all-alt} \le \eta_{all}\left(\frac{\eta_{ref-i}}{\eta_{alt-i}}\right)_{\min},$$

где η_{all} допустимый коэффициент запаса по устойчивости, как указано в *разделе 9/табл. 9.2.2;*

η_{ref-i} коэффициент запаса по устойчивости для эталонной методики оценки устойчивости для контрольного примера i, указанного в *Техническом обосновании для приложения D;*

η_{alt-i} коэффициент запаса по устойчивости для альтернативной методики оценки устойчивости для контрольного случая i, указанного в *Техническом обосновании для приложения D*.

1.1.3 Определения

1.1.3.1 «Устойчивость» используется в качестве обобщенного термина для обозначения прочности конструкций, как правило, под действием сжимающего/ или срезывающего усилия. Устойчивость при продольном изгибе или предел устойчивости может учитывать внутреннее перераспределение нагрузок в зависимости от ситуации.

1.1.3.2 Предел устойчивости с учетом перераспределения нагрузки (Метод 1). Этот метод определяет верхнее предельное значение предела устойчивости и представляет максимальную нагрузку, которую может выдержать панель без значительной остаточной деформации, и фактически способность панели выдерживать предельную нагрузку. Предел устойчивость рассматривается как нагрузка, которая приводит к первому появлению мембранного напряжения, вызывающего текучесть, в любом месте в подкрепленной панели. При расчете ее учитывается перераспределение нагрузки в конструкции, причем это перераспределение нагрузки является результатом потери устойчивости в упругой области компонента листов, как, например, пластины между ребрами жесткости. Для узких конструкций предел устойчивости, рассчитанный с использованием данного метода, обычно выше, чем идеальное напряжение при потере устойчивости в упругой области (минимальное собственное значение). Для укороченных панелей первое появление мембранного напряжения, вызывающего текучесть, происходит перед тем, как может возникнуть перераспределение нагрузки, см. ниже.

1.1.3.3 Предел устойчивости без учета перераспределения нагрузки (Метод 2). Этот метод определяет нижнее предельное значение устойчивости при продольном изгибе. Для удлиненных конструкций это определяется как идеальное напряжение при потере устойчивости в упругой области. Для более коротких конструкций, у которых идеальная прочность при продольном изгибе в упругой области высокая, первое появление мембранного напряжения, вызывающего текучесть, происходит до того, как может произойти перераспределение нагрузки, и, следовательно, дает такую же прочность при продольном изгибе, как и метод, определяющий верхний предел, см. выше. При расчете устойчивости, внутреннее перераспределение нагрузки не учитывается. Поэтому, этот метод дает больший запас, чем Метод 1, задающий верхнее предельное значение, и обеспечивает такое положение, что панели не испытывают значительных упругих деформаций с последующим уменьшением жесткости в плоскости панели.

1.1.3.4 «Характер потери устойчивости» относится к особой модели потери устойчивости. Типичными характерами повреждения подкрепленных панелей с открытым профилем являются:

а) потеря устойчивости листа;
б) потеря устойчивости ребра жесткости при кручении;
в) потеря устойчивости стенки ребра жесткости;
г) потеря боковой устойчивости ребра жесткости.

2 Метод анализа устойчивости

2.1 Общие положения

2.1.1 Факторы, которые должны быть рассмотрены

2.1.1.1 Метод оценки устойчивости должен обеспечить рассмотрение следующих факторов:

а) нелинейное геометрическое поведение;
б) неупругое поведение материала;
в) начальные деформации – геометрические несовершенства/неплосткостность;
г) остаточные напряжения после сварки;
д) связь между характером потери устойчивости и конструктивными элементами: пластинами, ребрами жесткости, балками и т.д.;
е) нагрузки, действующие одновременно: двухосное сжатие/натяжение, срез и боковое давление;
ж) граничные условия.

2.1.1.2 Детальные требования к факторам, перечисленным в *2.1.1.1*, приведены в *2.1.2 – 2.1.8*. Дополнительные требования, применимые к нелинейным конечноэлементным моделям, приведены в *2.1.9* и *2.1.10*.

2.1.2 Нелинейное геометрическое поведение

2.1.2.1 Метод оценки устойчивости должен основываться на нелинейной теории пластин с большим прогибом или равноценной. Должны учитываться мембранные деформации второго порядка, обусловленные геометрической нелинейностью.

2.1.2.2 Нелинейная теория пластин согласно фон Карману и Маргерру, приемлема для оценки прочности за пределами идеального уровня устойчивости в упругой области.

2.1.3 Поведение и свойства материала

2.1.3.1 Должно быть рассмотрено неупругое поведение материала. Если метод оценки устойчивости не обеспечивает рассмотрение нелинейного материала и распространения пластичности, то перераспределенные поля напряжений вследствие нелинейного геометрического поведения и геометрических несовершенств должны быть ограничены уровнем ниже критерия текучести Мизеса.

2.1.3.2 С другой стороны, если метод оценки устойчивости обеспечивает рассмотрение нелинейного материала, то должна использоваться би-линейная модель материала с коэффициентом деформационного упрочнения с учетом запаса в пластичной области.

2.1.3.3 Предположения о свойствах материала должны использовать характеристические значения предела текучести и модуль Юнга. Там, где это применимо, должна использоваться би-линейная изотропная модель упругопластичного материала, исключая влияние скорости деформации, или касательный модуль должен приниматься как величина с учетом запаса. Касательный модуль пластичности, составляющий 1000 МПа, приемлем для нормальной стали и стали повышенной прочности.

2.1.4 Начальные деформации – геометрические несовершенства/неплоскостность

2.1.4.1 Начальные деформации должны учитываться при оценке устойчивости.

2.1.4.2 Для детерминистической оценки прочности геометрические несовершенства должны быть преобразованы в правильную конфигурацию модели.

2.1.4.3 Несовершенства могут быть подразделены на местные несовершенства (неплоскостность пластины и боковое искривление ребра жесткости) и общие несовершенства ребер жесткости (горизонтальное/вертикальное искривление ребра жесткости).

2.1.4.4 Форма начальных деформаций должна быть такой, чтобы путем анализа были представлены и учтены наиболее критические характеры разрушений. Как правило, подходящей является комбинация самых низких собственных характеров потери устойчивости. Следует учесть случаи пластин с высокой податливостью и случай одновременно действующих нагрузок, где критический характер разрушения может отличаться от самого низкого собственного характера.

2.1.4.5 Максимальные значения отклонений несовершенств должны приниматься такими, чтобы они соответствовали *Стандарту судостроения и качественного ремонта МАКО*. Однако, амплитуды несовершенства правильной модели могут, как правило, приниматься меньшими, чем указанный максимальный допуск. Несовершенства правильной модели могут обычно зависеть от случая (зависеть от коэффициента нагрузки) и также охватывать несовершенства, вызванные сваркой. Фактический уровень несовершенств модели будет зависеть от метода анализа, протяженности модели и т.д. и должен быть одобрен отдельным классификационным обществом.

2.1.5 Остаточные напряжения после сварки

2.1.5.1 Не требуется, чтобы остаточные напряжения явно учитывались при оценке устойчивости, см. *2.1.4.5*.

2.1.6 Связь между характером потери устойчивости и конструктивными элементами

2.1.6.1 Метод анализа устойчивости должен точно моделировать взаимодействие между различными конструктивными элементами и, следовательно, между различными характерами потери устойчивости.

2.1.6.2 Должны учитываться все критические формы начальных деформаций, см. *2.1.4*.

2.1.7 Нагрузки, действующие одновременно

2.1.7.1 Метод должен обеспечивать моделирование любой комбинации двухосных сжимающих нагрузок, действующих в плоскости пластины, и срезывающих мембранных нагрузок и бокового давления.

2.1.7.2 Любое боковое давление должно прикладываться в первую очередь с тем, чтобы создать деформированную форму. Затем боковое давление должно поддерживаться постоянным.

2.1.7.3 Влияние бокового давления, вызывающего деформации, характер которых отличается от нагрузок, действующих в плоскости пластины, должен учитываться таким образом, чтобы обеспечивался наиболее критический характер потери устойчивости.

2.1.8 Граничные условия

2.1.8.1 Граничные условия должны представлять фактическую реакцию пластины или подкрепленной панели. Должны учитываться граничные условия в плоскости и вне плоскости пластины.

2.1.8.2 Если панель составляет неотъемлемую часть более обширного непрерывного участка подкрепленного листа, как например, днищевые или бортовые панели, кромки могут рассматриваться как свободно перемещающиеся в плоскости панели, но принужденные оставаться прямыми. Если панель не поддерживается в плоскости примыкающей конструкцией, например, стенкой стрингера или стенками днищевого стрингера, кромки должны считаться полностью свободными.

2.1.8.3 Ограничение вращательного смещения пластины от ребер жесткости должно учитываться с помощью прямого анализа взаимодействия пластины и ребер жесткости. Предписанные граничные условия, как правило, неприемлемы.

2.1.8.4 Панели могут считаться как опирающиеся в горизонтальном/вертикальном направлении на главные несущие элементы. Ребра жесткости могут считаться как опирающиеся в горизонтальном направлении на места пересечения главнывх несущих элементов (предотвращая наклон в местах пересечения). Ограничение геометрического вращательного смещения панели от главных несущих элементов не учитывается.

2.1.9 Протяженность модели

2.1.9.1 Протяженность модели, используемой при оценке устойчивости, должна быть достаточной, чтобы учесть конструкцию, которая окружает представляющую интерес панель, и уменьшить неопределенности, обусловленные граничными условиями.

2.1.9.2 Как правило, модель должна включать более, чем один пролет между ребрами жесткости в направлении ребра жесткости и участок между двумя главными несущими элементами в направлении, перпендикулярном к ребрами жесткости.

2.1.10 Размер элементов для нелинейной конечноэлементной модели

2.1.10.1 Размер элементов должен быть достаточно малым, чтобы точно охарактеризовать деформации при потере устойчивости.

2.1.10.2 Размер ячеек сетки будет зависеть от сложности геометрии и нагрузок и типа используемого элемента, однако, как правило, требуется не менее пяти элементов на половине длины волны выпучивания при потере устойчивости.

3 Принципы применения и построения модели для исследования конструкции

3.1 Общие положения

3.1.1 Область применения

3.1.1.1 Ниже описываются стандартные предположения, которые должны использоваться для применения метода оценки устойчивости. Эти предположения могут совершенствоваться, когда метод оценки устойчивости обеспечивает более точное представление конструкции.

3.1.2 Граничные условия

3.1.2.1 Граничные условия должны точно учитывать плоскостные и вращательные ограничения, налагаемые соседними конструкциями (например, ребрами жесткости, главными несущими элементами и примыкающими листами). Должны применяться предположения, определенные в *3.1.2.3 – 3.1.2.4*.

3.1.2.2 Граничные условия разделяются на две основные группы, представляющие «пластины со свободными кромками» и «неразрезные пластины». Последняя группа представляет крупные подкрепленные пластины, как например, настил палубы, днищевая обшивка, борта судна и т.д., в то время, как другая группа представляет балки, флоры, стрингеры и т.д.

3.1.2.3 Неразрезные пластины представляют элементы, поддерживаемые в плоскости окружающими конструкциями. Граничные условия для подкрепленных панелей должны рассматриваться для случаев:

а) кромки панели, перпендикулярные ребрам жесткости должны считаться незакрепленными;
б) кромки панелей, параллельные ребрам жесткости, должны считаться как имеющие вращательную опору, равноценную той, которая обеспечивается ребрами жесткости внутри панели;
в) концы ребер жесткости должны считаться частью неразрезной панели и поддерживаемые сбоку главными несущими элементами;
г) все кромки панели должны быть заделаны, чтобы оставаться прямыми и свободными для смещения во внутрь.

3.1.2.4 Пластины со свободными кромками представляют элементы со слабой опорой в плоскости вдоль одной или более кромок, например, подкрепленные в вертикальном направлении флоры двойного дна. Граничные условия для неразрезных панелей должны рассматриваться для случаев:

а) кромки панели, перпендикулярные ребрам жесткости должны считаться незакрепленными;
б) кромки панелей, параллельные ребрам жесткости, должны считаться как имеющие вращательную опору, равноценную той, которая обеспечивается ребрами жесткости внутри панели;
в) концы ребер жесткости должны считаться как опертые сбоку, когда они прикреплены непосредственно к соседней конструкции, в противном случае они должны считаться закрепленными;
г) все свободные кромки панели могут свободно смещаться во внутрь. Может быть рассмотрена возможность вращательных ограничений подкреплений кромки на свободной кромке.

3.1.2.5 Граничные условия для неподкрепленных панелей должны рассматриваться для случаев:

а) кромки панели должны считаться незакрепленными, если не оговорено иное;

б) свободные кромки панели, если они имеются, обладают свободой для смещения во внутрь. Неразрезные кромки должны заделываться для того, чтобы оставаться прямыми.

3.1.3 Идеализация конструкции

3.1.3.1 Метод построения модели для исследования конструкции и оценки устойчивости, используемый для пластин со свободными кромками, должен приниматься для случаев:

а) параллельно направлению ребра жесткости: одно расстояние между рамными конструкциями обычно достаточно для конструкций, имеющих значительный градиент напряжений. Для равномерно сжатых элементов со свободными кромками, параллельными направлению ребра жесткости, как например, продольные балки, могут рассматриваться модели с несколькими расстояниями между рамными конструкциями;
б) нормально к направлению ребра жесткости: между главными несущими элементами, но можно ограничиться шестью шпациями между ребрами жесткости;
в) метод оценки: Метод 2 – предел устойчивости при продольном изгибе без учета перераспределения нагрузки, если не указано иное.

3.1.3.2 Метод построения модели для исследования конструкции и оценки устойчивости, используемый для неразрезных пластин, должен приниматься для случаев:

а) параллельно направлению ребра жесткости: не менее двух расстояний между рамными конструкциями для того, чтобы смоделировать дефекты между соседними панелями;
б) нормально направлению ребра жесткости: между основными опорными элементами, но можно ограничиться шестью расстояниями между ребрами жесткости;
в) метод оценки; Метод 1 – предел устойчивости при продольном изгибе с учетом перераспределения нагрузки, если не указано иное.

4 Критерии оценки

4.1 Общие положения

4.1.1 Методы оценки устойчивости

4.1.1.1 Величина предела устойчивости при продольном изгибе должна основываться на одном из следующих методов оценки:

1. Предел устойчивости с учетом перераспределения нагрузки;
2. Предел устойчивости без учета перераспределения нагрузки.

Применение каждого метода описано в *3.1.3*.

4.1.2 Метод 1: Предел устойчивости с учетом перераспределения нагрузки

4.1.2.1 Величина предела устойчивости при продольном изгибе должна приниматься как нагрузка, приводящая к первому появлению мембранного, вызывающего текучесть напряжения в любом месте подкрепленной панели. Это учитывает перераспределение нагрузки, как указано в *1.1.3.2*. В частности, следующие участки должны быть проверены на наличие напряжений Мизеса, эквивалентных текучести:

а) на кромках пластины;
б) вдоль линии пересечения пластины и ребер жесткости, особенно на концах ребра жесткости и в середине ребра жесткости;
в) вдоль фланцев ребер жесткости, особенно на концах и в середине ребра жесткости.

4.1.3 Метод 2: Предел устойчивости без учета перераспределения нагрузки

4.1.3.1 Величина предела устойчивости при продольном изгибе или нагрузка, которая приводит к первому появлению мембранного, вызывающего текучесть напряжения в любом месте подкрепленной панели, см. *1.1.3.3*.

4.2 Коэффициенты запаса по устойчивости

4.2.1 Общие положения

4.2.1.1 Коэффициент запаса по устойчивости, η, используется как мера запаса прочности по отношению к разрушению вследствие потери устойчивости. Коэффициент запаса по устойчивости определяется как отношение между приложенными нагрузками и соответствующим пределом запаса прочности или усталости при продольном изгибе.

4.2.1.2 Конструкция считается обладающей приемлемой прочностью, если она удовлетворяет следующим критериям:

$$\eta_{act} \leq \eta_{allow},$$

где η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости, как определено в *разделе 9/2.2.5*;
η_{act} фактический коэффициент запаса по устойчивости, основывающийся на приложенных расчетных нагрузках.

4.2.1.3 Для комбинированных нагрузок, коэффициент запаса по устойчивости, η, должен приниматься как отношение между приложенной эквивалентной нагрузкой и соответствующей пределом устойчивости при продольном изгибе, см. *рис. D.4.1*, и должен приниматься равным:

$$\eta = \frac{W_{act}}{W_u},$$

где W_{act} приложенная эквивалентная нагрузка, обусловленная комбинированными мембранными нагрузками

$= \sqrt{\sigma_{dx}^2 + \sigma_{dy}^2 + \tau_d^2}$ Н/мм^2;

W_u эквивалентная нагрузка, обусловленная комбинированными мембранными нагрузками, которые приводят к точке предела устойчивости при продольном изгибе, см. *рис. D.4.1*;

$= \sqrt{\sigma_{cx}^2 + \sigma_{cy}^2 + \tau_{cr}^2}$ Н/мм^2;

Если все комбинированные нагрузки определяются тем же отношением и приложенная сжимающая нагрузка должна поддерживаться постоянной;

σ_{dx} приложенное осевое напряжение в направлении x, Н/мм^2;
σ_{dy} приложенное осевое напряжение в направлении y, Н/мм^2;
τ_d приложенное срезывающее напряжение, Н/мм^2;
σ_{cx} устойчивость при продольном изгибе вследствие сжатия в направлении x, Н/мм^2;
σ_{cy} устойчивость при продольном изгибе вследствие сжатия в направлении y, Н/мм^2;
τ_{cr} устойчивость при продольном изгибе в условиях среза, Н/мм^2.

Рис. D.4.1
Определение примера коэффициента нагрузки, показывающего двухосный характер нагрузки



5 Оценка прочности (метод конечных элементов) – методика оценки потери устойчивости

5.1 Общие положения

5.1.1 Область применения

5.1.1.1 Приведенная ниже методика должна использоваться для оценки требований к устойчивости для оценки прочности (по методу конечных элементов) как части методики проверки конструкции, см. *раздел 9/2*.

5.1.1.2 Все конструктивные элементы при анализе методом конечных элементов должны оцениваться индивидуально. Должны быть оценены каждое ребро жесткости и присоединенный поясок и все неподкрепленные панели.

5.1.1.3 Характеристики устойчивости каждого конструктивного элемента считаются приемлемыми, если они удовлетворяют следующему критерию:

$$\eta_{act} \leq \eta_{allow},$$

где η_{allow} допустимый коэффициент запаса по устойчивости, как определено в *разделе 9/2.2.5*;
η_{act} фактический коэффициент запаса по устойчивости, основывающийся на приложенных расчетных нагрузках, см. *4.2.1*.

5.2 Моделирование конструкции и метод оценки несущей способности

5.2.1 Общие положения

5.2.1.1 Конструкция эквивалентного бруса, эффективная в продольном направлении, должна моделироваться как подкрепленные панели или неподкрепленные панели, как указано в *табл. D.5.1* и на *рис. D.5.1*. Они предоставляют стандартные предположения, которые должны использоваться для метода оценки устойчивости при продольном изгибе.

5.2.1.2 Модели для исследования конструкций должны основываться на толщине нетто, полученной при вычитании надбавки на коррозию корпуса, т.е. $-1{,}0\,t_{corr}$ и любых дополнительных надбавок владельца на предложенную толщину. Уменьшение толщины применяется для обшивки, стенки и свободного пояска.

5.2.2 Подкрепленные панели

5.2.2.1 Каждое ребро жесткости с присоединенным пояском должно представляться как подкрепленная панель с протяженностью, определенной в *табл. D.5.1* и, следовательно, оно считается частью более крупной конструкции для точного моделирования общей характеристики устойчивости.

5.2.2.2 Как правило, метод оценки должен обеспечивать моделирование изменений толщины листов, размера ребер жесткости и расстояния между ними. Однако, если усовершенствованный метод оценки устойчивости не может точно моделировать эти изменения, для каждого ребра жесткости и пластины между ребрами жесткости должны быть выполнены расчеты. Толщина пластины, свойства ребер жесткости и шпация ребра жесткости в рассматриваемом месте должны приниматься для всей панели. Если толщина пластины, свойства ребер жесткости и шпации ребер жесткости различны в пределах подкрепленной панели, для всех конфигураций панели должны быть выполнены расчеты.

5.2.3 Неподкрепленные панели

5.2.3.1 Метод оценки должен моделировать изменения толщины панели и геометрии панели.

5.2.3.2 В районе рамных шпангоутов, стрингеров и книц геометрия панели (т.е. листа, ограниченного рамными подкреплениями /свободным пояском) может не иметь прямоугольную форму. Если усовершенствованный метод оценки устойчивости не может точно моделировать геометрию панели, то должна быть определена эквивалентная прямоугольная панель, как показано на *рис. D.5.5* и *D.5.6*. Анализ методом конечных элементов должен представить фактическую конструкцию для того, чтобы установить реальные значения напряжений для применения в эквивалентной прямоугольной панели.

5.2.3.3 Если усовершенствованный метод оценки устойчивости не может точно смоделировать изменения толщины нетто листа по панели, а панель состоит из ряда конечных листовых элементов, то средняя толщина должна определяться следующим образом:

$$t_{avr} = \frac{\sum A_j t_j}{\sum A_j},$$

где A_j площадь j-го листового элемента, составляющего панель;
t_j толщина нетто j-го листового элемента составляющего панель.

Таблица D.5.1

Конструктивные элементы для оценки прочности (по методу конечных элементов)

Конструктивные элементы	Идеализация	Метод оценки(1)	Определение нормальной панели(2)
1	2	3	4
Продольные конструкции, см. *рис. D.5.1*			
Панели, подкрепленные в продольном направлении: Ограничивающая наружная обшивка Палуба Внутренний корпус Боковая стенка скуловой цистерны Продольные переборки Диаметральные переборки	Подкрепленная панель	Метод 1	Длина: между рамными конструкциями Ширина: между главными несущими элементами (PSM)(2)
Продольные балки двойного дна в плоскости продольной переборки или соединенные со стенкой скуловой цистерны	Подкрепленная панель	Метод 1	Длина: между рамными конструкциями Ширина: полная высота стенки

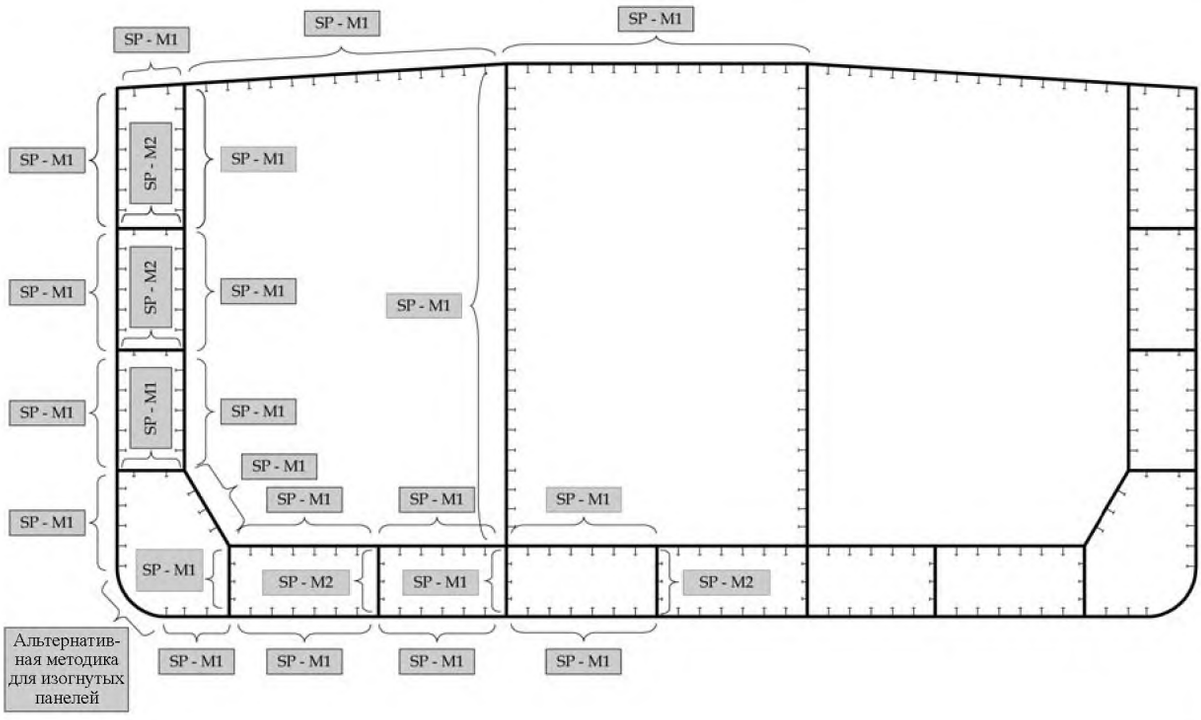
Продолжение табл. D.5.1

1	2	3	4
Стенка горизонтальных балок в танках двойного борта, соединенная со стенкой скуловой цистерны	Подкрепленная панель	Метод 1	Длина: между рамными конструкциями Ширина: полная высота стенки
Стенка продольных балок двойного дна не в плоскости продольной переборки или несоединенная со стенкой скуловой цистерны	Подкрепленная панель	Метод 2	Длина: между рамными конструкциями Ширина: полная высота стенки
Стенка горизонтальных балок в танке двойного борта, несоединенная со стенкой скуловой цистерны	Подкрепленная панель	Метод 2	Длина: между рамными конструкциями Ширина: полная высота стенки
Стенка продольных балок одинарного борта	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между местными ребрами жесткости/свободным пояском/ PSM
Поперечные конструкции, см. *рис. D.5.2*			
Стенка поперечных палубных связей	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между местными ребрами жесткости/свободным пояском/ PSM
Вертикальная рамная конструкция в танке двойного борта	Подкрепленная панель	Метод 2	Длина: полная высота стенки Ширина: между PSM
Все неравномерно подкрепленные панели, например, рамная секция в районе скуловой цистерны и скулы	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между местными ребрами жесткости/свободным пояском/ PSM
Флоры двойного дна	Подкрепленная панель	Метод 2	Длина: полная высота стенки Ширина: между основными опорными конструкциями
Вертикальная рамная конструкция, включая кницы	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между вертикальными рамными подкреплениями/свободным пояском/ PSM
Рамная распорная конструкция	Неподрепленная панель	Метод 2	Между вертикальными рамными подкреплениями/ свободным пояском/ PSM
Поперечные нефтенепроницаемые и водонепроницаемые переборки, см. *рис. D.5.3* и поперечные отбойные переборки, см. *рис. D.5.4*			
Все равномерно подкрепленные панели переборок	Подкрепленная панель	Метод 1	Длина: между PSM Ширина: между PSM
Все неравномерно подкрепленные переборочные панели, например, рамные секции в районе скуловой цистерны и скулы	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между местными ребрами жесткости/свободным пояском
Стенка стрингеров переборки, включая кницы	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между рамными подкреплениями/свободным пояском
Поперечные гофрированные переборки			
Верхняя/нижняя трапециидальная опора, включая ребра жесткости	Подкрепленная панель	Метод 1	Длина: между внутренними рамными диафрагмами Ширина: длина боковой стенки опоры
Внутренняя рамная диафрагма опоры	Неподкрепленная панель	Метод 2	Между местными ребрами жесткости/свободным пояском/ PSM

Примечания

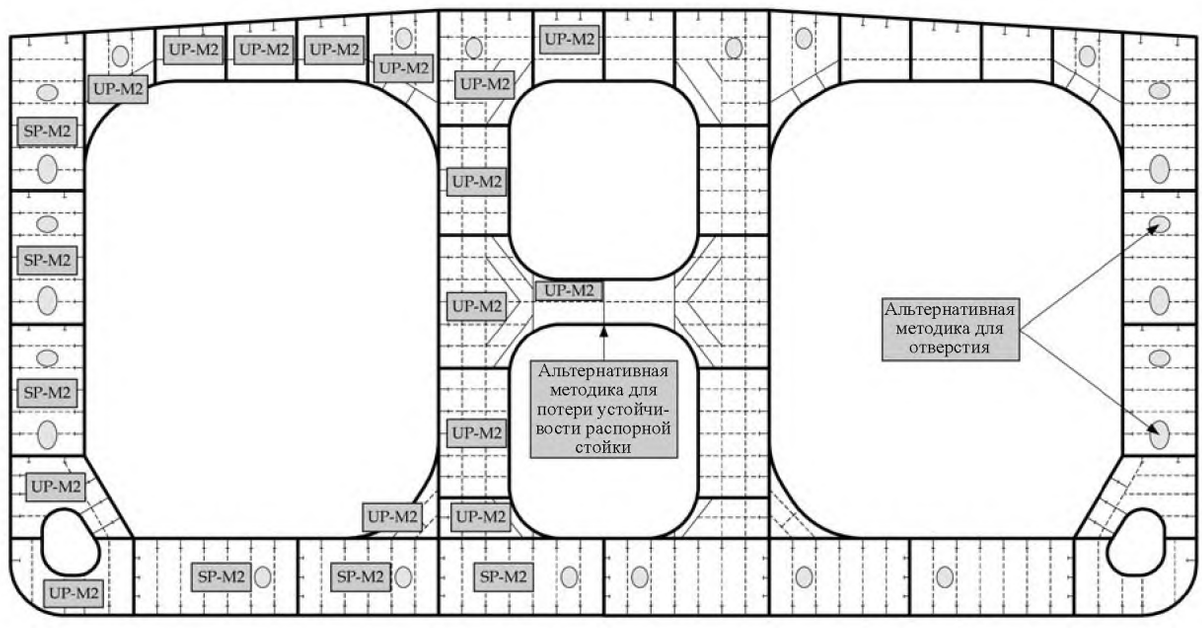
1. Метод оценки указывает, какой метод оценки устойчивостим при продольном изгибе должен использоваться, см. *4.1*.
2. См. идеализация конструкций, *3.1.3*.

Рис. D.5.1
Метод оценки устойчивости для продольной прочности



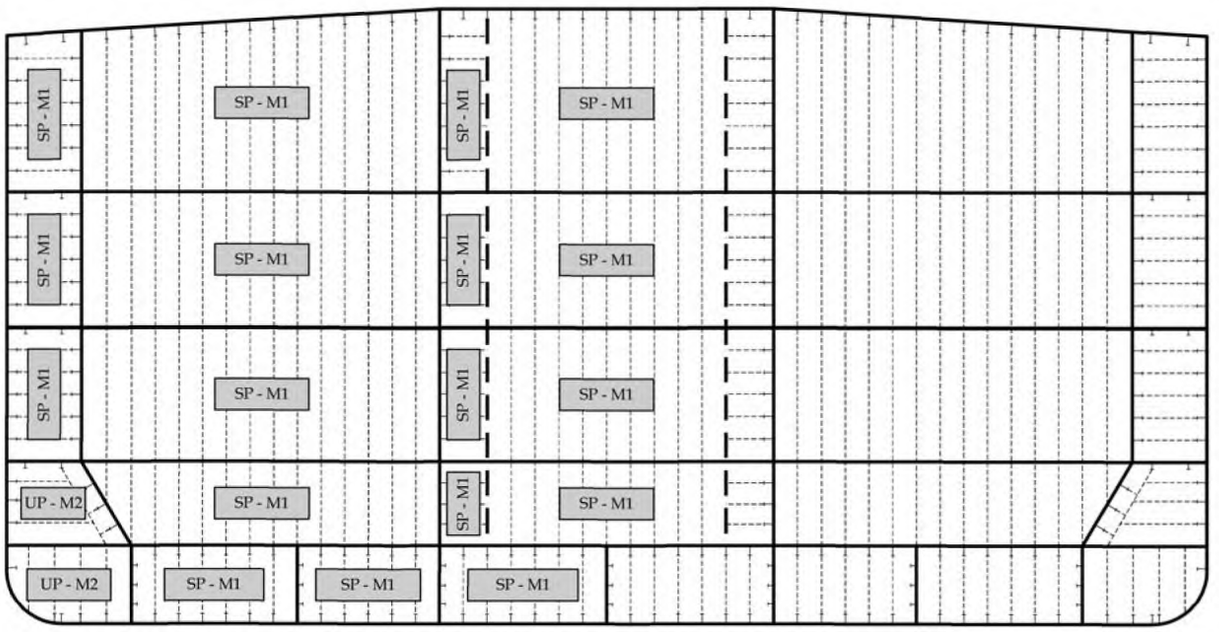
Примечания
1. SP –M1 – обозначает подкрепленную панель- прочность при продольном изгибе оценивается по Методу 1.
2. SP – M2 – обозначает подкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается по Методу 2.

Рис. D.5.2
Поперечные рамные конструкции



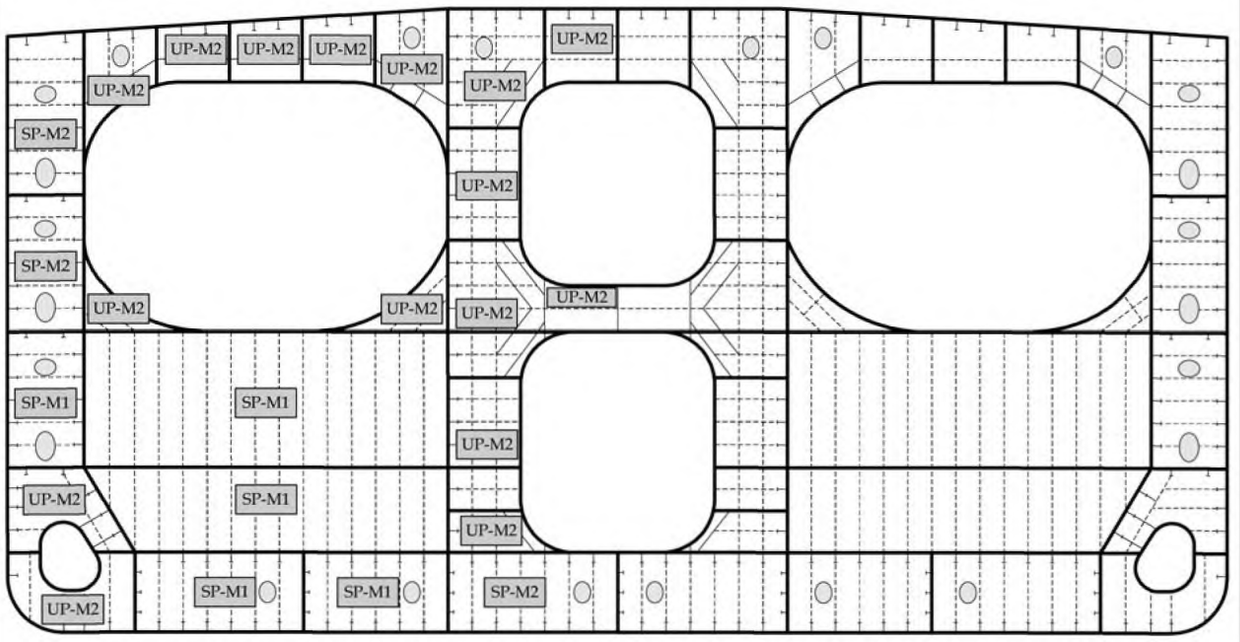
Примечания
SP – M1 обозначает подкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается с помощью Метода 1.
UP – M2 обозначает неподкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается с помощью Метода 2.
SP – M2 обозначает подкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается с помощью Метода 2.

Рис. D.5.3
Поперечная переборка



Примечания
SP – M1 обозначает подкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается с помощью Метода 1.
UP – M2 обозначает неподкрепленную модель – прочность при продольном изгибе оценивается с помощью Метода 2.

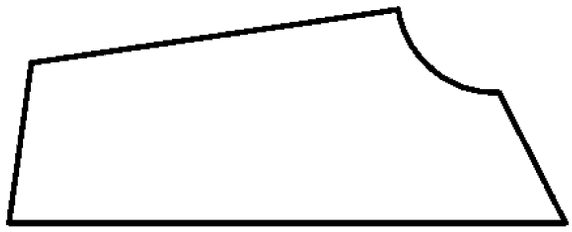
Рис. D.5.4
Распорная конструкция



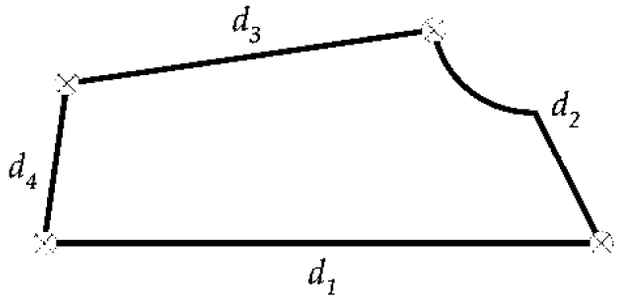
Примечания
1. SP – M1 – обозначает подкрепленную панель – устойчивость при продольном изгибе оценивается по Методу 1.
2. UP-M2 – обозначает неподкрепленную панель – устойчивость при продольном изгибе оценивается по Методу 2.
3 SP-M2 – обозначает подкрепленную панель – прочность при продольном изгибе оценивается по Методу 2.

Рис. D.5.5
Моделирование неподкрепленной панели с неправильной геометрией

а) Выбираются четыре угла, ближайшие к прямому углу, 90°, в ограничивающем многоугольнике для пластины

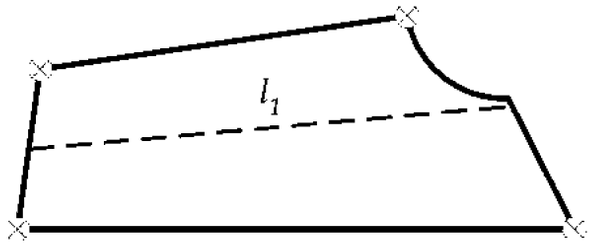


б) Рассчитываются расстояния по ограждающему пластину многоугольнику, т.е. сумма всех прямоугольных сегментов между конечными точками



в) Выбирается пара противоположных кромок с наименьшей общей длиной, т.е., минимум, $d_1 + d_3$ и $d_2 + d_4$

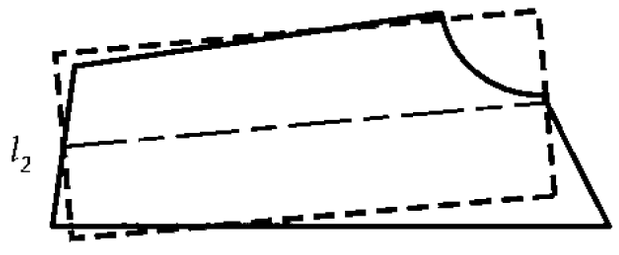
г) Линией соединяются средние точки выбранных противоположных кромок (т.е. средняя точка определяется как точка на половине расстояния от одного конца). Эта линия определяет продольное направление, x_1, для модели устойчивости при продольном изгибе. Длина линии определяет длину модели устойчивости, l_1 или d_2, измеренные от одной конечной точки



д) Ширина модели, l_2, определяется следующим образом:

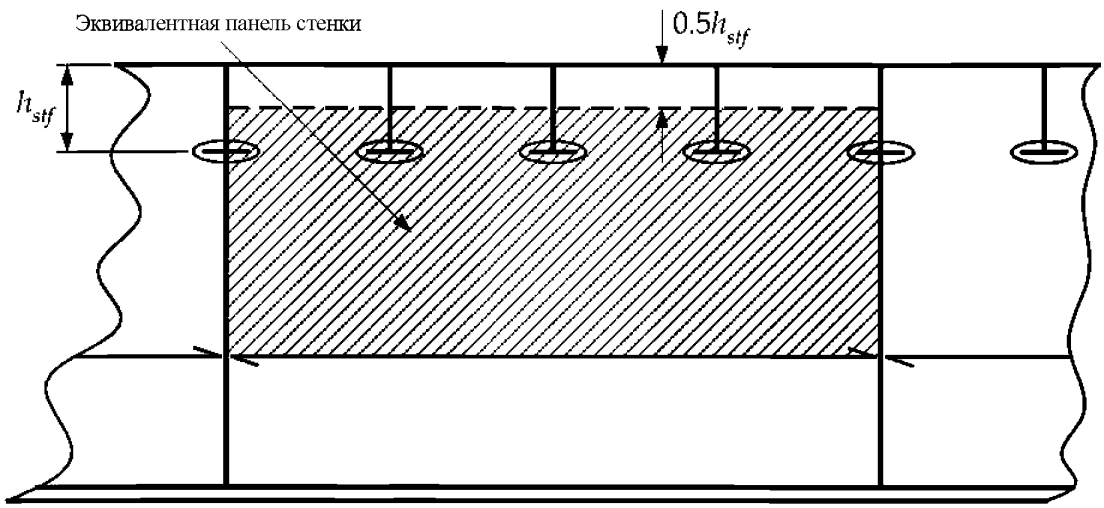
$l_2 = A_{pl}/l_1$,

где A_{pl} площадь панели



е) Напряжения, полученные из анализа методом конечных элементов, должны быть введены в местную систему координат эквивалентной прямоугольной панели. Эти напряжения должны использоваться для оценки устойчивости

Рис. D.5.6
Модель устойчивости при продольном изгибе для стенки составной балки



5.3 Приложение нагрузок

5.3.1 Общие положения

5.3.1.1 Предельная устойчивости или устойчивость при продольном изгибе должен оцениваться с учетом комбинированных двухосных и срезывающих мембранных напряжений, действующих на панель конструкции.

5.3.1.2 Распределение осевых сжимающих и срезывающих напряжений должно определяться по анализу методом конечных элементов и прикладываться к модели потери устойчивости. Напряжения, полученные из анализа, не должны корректироваться с учетом требующегося изменения толщины для потери устойчивости, т.е. –0,5 t_{corr}, используемого в анализе методом конечных элементов, и 1,0 t_{corr}, используемого для оценки потери устойчивости.

5.3.1.3 Боковое давление, применяемое в анализе методом конечных элементов, должно также применяться при оценке потери устойчивости.

5.3.1.4 Напряжения могут прилагаться с помощью силовых перемещений, полученных в результате анализа методом конечных элементов, к кромкам панели или с помощью нагрузок, прикладываемых к кромкам панели.

5.3.1.5 Когда метод оценки потери устойчивости не может точно смоделировать изменения осевых или срезывающих напряжений по панели, то напряжения и давления могут быть усреднены, как определено в *5.3.2* и *5.3.3*.

5.3.2 Средние мембранные напряжения

5.3.2.1 Когда листовая панель состоит из ряда конечных листовых элементов, среднее мембранное напряжение должно рассчитываться с помощью средне-взвешенного подхода, как указано ниже:

$$\sigma_{xm} = \frac{\sum_{1}^{n} A_j \sigma_{xmi}}{\sum_{1}^{n} A_i} \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{ym} = \frac{\sum_{1}^{n} A_i \sigma_{ymi}}{\sum_{1}^{n} A_i} \text{ Н/мм}^2;$$

$$\tau_{xym} = \frac{\sum_{1}^{n} A_i \tau_{xymi}}{\sum_{1}^{n} A_i} \text{ Н/мм}^2,$$

где σ_{xmi} мембранное напряжение в направлении x в центре тяжести i-го листового элемента панели, Н/мм^2;
σ_{ymi} мембранное напряжение в направлении y в центре тяжести i-го листового элемента панели, Н/мм^2;
τ_{xymi} мембранное срезывающее напряжение в центре тяжести i-го листового элемента панели, Н/мм^2;
A_i площадь i-го листового элемента, составляющего панель, мм^2;
n количество элементов в панели.
Когда σ_{xmi} или σ_{ymi} относятся к напряжениям растяжения, то соответствующая величина должна быть принята равной нулю.

5.3.3 Усредненное боковое давление

5.3.3.1 Если листовая панель состоит из ряда конечных элементов, среднее давление, P_{avr}, должно рассчитываться с использованием средневзвешенного подхода, как указано ниже:

$$P_{avr} = \frac{\sum_{1}^{n} A_i P_i}{\sum_{1}^{n} A_i} \text{ кН/мм}^2,$$

где P_i давление, действующее на i-й листовой элемент, составляющий панель, кН/мм^2;
A_i площадь i-го листового элемента, составляющего панель, мм^2;
n количество элементов в панели.

5.4 Ограничения метода оценки устойчивости

5.4.1 Общие положения

5.4.1.1 Следующие конструктивные элементы не охватываются методом оценки потери устойчивости и должны оцениваться в соответствии с *табл. D.5.2*

Таблица D.5.2

Требования к конструктивным элементам, не охваченным методом оценки потери устойчивости

Конструктивные элементы	Характер потери устойчивости	Ссылка на Правила
скуловой лист	поперечная потеря устойчивости в упругой области	*раздел 8/2.2.3*
главные несущие элементы	общая потеря устойчивости и потеря устойчивости при кручении	*раздел 10/2.3*
стенка составной балки главных несущих элементов в районе отверстий	потеря устойчивости стенки составной балки	*раздел 10/3.4*
распорные конструкции	общая потеря устойчивости	*раздел 10/3.5*

6 Оценка предельной прочности эквивалентного бруса

6.1 Общие положения

6.1.1 Область применения

6.1.1.1 Настоящая методика требуется для оценки предельной прочности эквивалентного бруса как части методики Проверки конструкции, см. *раздел 9/1.*

6.1.1.2 Все конструктивные элементы прочной палубы должны оцениваться индивидуально.

6.2 Приложение нагрузок

6.2.1 Общие положения

6.2.1.1 Одноосное сжимающее напряжение, используемое для оценки устойчивости при продольном изгибе палубных панелей, подкрепленных в продольном направлении, должно рассчитываться в точке пересечения ребра жесткости с листом.

6.2.1.2 Напряжения эквивалентного бруса основываются на характеристиках момента сопротивления с использованием вычета половины надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}5\,t_{corr}$, и дополнительных надбавок владельца из предложенной толщины.

6.2.1.3 Боковое давление не должно учитываться при оценке потери устойчивости для предела прочности эквивалентного бруса.

6.3 Моделирование конструкции и оценка устойчивости

6.3.1 Общие положения

6.3.1.1 Эффективная в продольном направлении конструкция прочной палубы должна моделироваться как подкрепленные панели с использованием Метода 1 для определения устойчивости при продольном изгибе.

6.3.1.2 Каждое палубное ребро жесткости с присоединенным пояском должно представляться как подкрепленная панель с поперечной протяженностью, охватывающей расстояние между двумя соседними главными несущими элементами.

6.3.1.3 Модели устойчивости при продольном изгибе должны основываться на толщине нетто, полученной путем вычета половины надбавки на коррозию, т.е. $-0{,}5\,t_{corr}$, и любых дополнительных надбавок владельца на предложенную толщину. Такое уменьшение толщины относится к настилу, а также стенке и свободному пояску.

6.3.1.4 Как правило, метод оценки должен обеспечивать точное моделирование изменений толщины листа, размеров и шпаций ребер жесткости. Однако, если метод не может обеспечить точное моделирование этих изменений, для каждого ребра жесткости и листа между ребрами жесткости должны быть выполнены отдельные расчеты. Толщина листа, свойства ребер жесткости и шпации ребер жесткости в рассматриваемом месте должны приниматься для всей панели. Если толщина листа, свойства ребер жесткости и шпации ребер жесткости различны в пределах подкрепленной панели, расчеты должны выполняться для всех конфигураций панели.

Российский морской регистр судоходства
ПРАВИЛА КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ
Том 3

Редакционная коллегия Российского морского регистра судоходства
Ответственный за выпуск *Е. Б. Мюллер*
Главный редактор *М. Ф. Ковзова*
Редакторы *С. А. Кротт, М. Р. Маркушина*
Компьютерная верстка *Д. Г. Иванова*

Подписано в печать 21.03.07. Формат 60 × 84/8. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 67,9. Уч.-изд. л. 62,2. Заказ № 2288/1

Российский морской регистр судоходства
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8

gost.e-ecolog.ru