

# РУКОВОДСТВО ПО ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВ

НД № 2-030101-038



Санкт-Петербург  
2020

# РУКОВОДСТВО ПО ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВ

---

Руководство по оценке усталостной долговечности судов Российского морского регистра судоходства утверждено в соответствии с действующим положением и вступает в силу с 1 декабря 2020 года.

Настоящее издание Руководства составлено на основе предыдущей версии (от 01.08.2020) издания 2020 года, с учетом изменений и дополнений, подготовленных непосредственно к моменту переиздания. Терминология Руководства приведена в соответствие с терминологией Правил и Руководств Российского морского регистра судоходства.

С вступлением в силу данного Руководства теряет силу Руководство по оценке усталостной долговечности судов издания 1 августа 2020 года.

В Руководстве учтены рекомендации Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО).

В случае расхождений между текстами на русском и английском языках, текст на русском языке имеет преимущественную силу.

## ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕНЕНИЙ<sup>1</sup>

(изменения сугубо редакционного характера в Перечень не включаются)

Изменяемые пункты/главы/разделы	Информация по изменениям	№ и дата циркулярного письма, которым внесены изменения	Дата вступления в силу
Раздел 1, пункт <a href="#">1.1.1</a>	Уточнены определения моментов инерции поперечного сечения, введено обозначение для расстояния от основной плоскости до горизонтальной нейтральной оси поперечного сечения корпуса	—	01.12.2020
Раздел 1, пункт <a href="#">1.2.1</a>	Уточнен тип конструктивных узлов	—	01.12.2020
Раздел 1, пункт <a href="#">1.2.4</a>	Уточнены виды повреждений	—	01.12.2020
Раздел 1, пункт <a href="#">1.3.2.1</a>	Термин «комнатная температура» заменен на «температура 20°C»	—	01.12.2020
Раздел 1, пункт <a href="#">1.3.2.2</a>	Уточнено требование, касающееся расчета при температурах выше 100°C	—	01.12.2020
Раздел 1, пункт <a href="#">1.6.1</a>	Уточнены определения	—	01.12.2020
Раздел 2, пункт <a href="#">2.1.1</a>	Введено требование к нагрузкам в случае расчета методом конечных элементов	—	01.12.2020
Раздел 3, пункт <a href="#">3.2.1</a>	Уточнена формула для определения нормальных напряжений, вызванных действием вертикального изгибающего момента на тихой воде	—	01.12.2020

<sup>1</sup> По сравнению с версией от 01.08.2020 издания 2020 года.

*Руководство по оценке усталостной долговечности судов*

Изменяемые пункты/главы/разделы	Информация по изменениям	№ и дата циркулярного письма, которым внесены изменения	Дата вступления в силу
Раздел 3, <a href="#">Таблица 3.2.2-1</a>	Уточнены формулы для определения нормальных напряжений, вызванных действием волновых изгибающих моментов	—	01.12.2020
Раздел 3, пункт <a href="#">3.3.1.1.1</a>	Введен новый пункт 3.3.1.1.1, содержащий требования для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными переборками и сплошными флорами, установленными под поперечными переборками или под опорами поперечных переборок	—	01.12.2020
Раздел 3, пункт <a href="#">3.3.1.1.2</a>	Введен новый пункт 3.3.1.1.2, содержащий требования для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными рамными связями, отличными от приведенных в 3.3.1.1.1	—	01.12.2020
Раздел 3, пункт <a href="#">3.3.1.2.3</a>	Уточнены причины, ввиду которых возникает увеличение напряжений	—	01.12.2020
<a href="#">Приложение 1</a>	Уточнена терминология в соответствии с общепринятой в изданиях РС	—	01.12.2020
<a href="#">Приложение 2</a>	Индексы в обозначениях нормальных напряжений приведены в соответствие с направлением их действия. Уточнены значения коэффициентов концентрации напряжений. Уточнена терминология в соответствии с общепринятой в изданиях РС	—	01.12.2020

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 1.1 ОБОЗНАЧЕНИЯ

**1.1.1** В тексте Руководства приняты следующие обозначения:

$L$  — длина судна, м, определяется в соответствии с 1.1.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

$B$  — ширина судна, м, определяется в соответствии с 1.1.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

$d$  — осадка по летнюю грузовую ватерлинию, м, определяется в соответствии с 1.1.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

$d_1$  — расчетная осадка, м, определяется согласно Информации об остойчивости для рассматриваемого случая загрузки;

$d_B$  — минимальная осадка на миделе, м, определяется в соответствии с [2.1.2](#) настоящего Руководства;

$d_F$  — максимальная осадка на миделе, м, определяется в соответствии с [2.1.2](#) настоящего Руководства;

$C_b$  — коэффициент общей полноты, определяется в соответствии с 1.1.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

$B_w$  — ширина рассматриваемого поперечного сечения корпуса на уровне расчетной ватерлинии, соответствующей осадке  $d_1$ , м;

$p_{st}$  — статическое давление со стороны моря, кПа;

$p_w$  — волновое давление со стороны моря, кПа;

$p_{r.st}$  — статическое давление со стороны груза, топлива или балласта, кПа;

$p_{r.in}$  — инерционное давление со стороны груза, топлива или балласта, кПа;

$v_0$  — спецификационная скорость, уз;

$x$  — координата по длине, м, отсчитывается от кормового перпендикуляра;

$y$  — координата по ширине, м, отсчитывается от диаметральной плоскости;

$z$  — координата по высоте, м, отсчитывается от основной плоскости;

$z_0$  — координата по высоте, м, отсчитывается от летней грузовой ватерлинии;

$z_1$  — координата по высоте, м, отсчитывается от ватерлинии, соответствующей расчетной осадке  $d_1$ , при этом  $z_1$  положительна для точек, расположенных выше ватерлинии;

$I_z$  — момент инерции поперечного сечения корпуса относительно вертикальной нейтральной оси, определяется с учетом [1.3.3](#) настоящего Руководства, м<sup>4</sup>;

$I_y$  — момент инерции поперечного сечения корпуса относительно горизонтальной нейтральной оси, определяется с учетом [1.3.3](#) настоящего Руководства, м<sup>4</sup>;

$e$  — расстояние от основной плоскости до горизонтальной нейтральной оси поперечного сечения корпуса, м;

$\rho_r$  — плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ж}$  — плотность жидкого груза, балласта или топлива, в зависимости от того, что применимо, т/м<sup>3</sup>;

$\varphi_r$  — редуцированный коэффициент, определяется в соответствии с 1.3.1.5 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

$i$  — индекс, указывающий на отношение к одному из случаев действия нагрузок «а», «b», «с» или «d»;

$j$  — индекс, указывающий на отношение к одному из случаев загрузки  $B$  или  $F$  согласно [2.1.2](#) настоящего Руководства;

$H$  — высота цистерны, м, принимается как расстояние, измеренное по вертикали от дна до крышки цистерны, без учета горловин.

## 1.2 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

**1.2.1** Настоящее Руководство предназначено для оценки усталостной долговечности стальных судов сварной конструкции длиной от 150 до 350 м на стадии проектирования.

**1.2.2** Рекомендации настоящего Руководства относятся к конструктивным узлам стальных судов, выполненным с помощью сварки.

**1.2.3** Оценка усталостной долговечности на стадии проектирования осуществляется с целью обеспечения требуемой продолжительности срока службы корпусных конструкций с точки зрения усталостной долговечности. Методика, предназначенная для этой цели, основана на использовании кривых усталости, метода линейного суммирования усталостных повреждений и нескольких методах оценки напряженного состояния.

**1.2.4** Руководство описывает процедуру оценки усталостной долговечности, цель которой состоит в предупреждении появления следующих видов повреждений:

- усталостные трещины, возникающие на кромке сварного шва;
- усталостные трещины, возникающие в корневой зоне сварного шва.

## 1.3 ОГРАНИЧЕНИЯ

**1.3.1** Настоящее Руководство предназначено для расчета конструкций, изготовленных из стали с пределом текучести, не превышающим значение 390 Н/мм<sup>2</sup>.

### **1.3.2 Температура.**

**1.3.2.1** При расчетных температурах до 100 °С механические свойства стали могут приниматься как при температуре 20 °С.

**1.3.2.2** При расчетных температурах выше 100 °С необходимо учитывать уменьшение усталостной долговечности с повышением температуры. IIW Fatigue Recommendations (IIW-XIII-1823-07, 2008) содержат редукционные коэффициенты для стали при температурах выше чем 100 °С и ниже чем 600 °С.

**1.3.3** Принимаемые при оценке усталостной долговечности толщины конструктивных элементов корпуса не должны включать запас на износ.

**1.3.4** Руководство описывает методику оценки усталостной долговечности корпусных судовых конструкций, подверженных воздействию волновых нагрузок и работающих в области упругих деформаций. Методика не учитывает влияние на усталостную долговечность иных силовых факторов, действие которых сопровождается возникновением пластических деформаций (операции загрузки/разгрузки, локальные ледовые нагрузки и т.п.).

## 1.4 ПЕРЕЧЕНЬ ДЕТАЛЕЙ

**1.4.1** Оценка усталостной долговечности выполняется для деталей, приведенных в [приложении 1](#). Детали подразделяются на несколько групп, в зависимости от методики расчета:

узлы пересечения продольных балок основного набора с поперечными переборками, а также с флорами и другими поперечными рамными связями;

узлы, определение напряженного состояния которых осуществляется методом конечных элементов.

**1.4.2** В случае, когда усталостная долговечность узлов, не перечисленных в [1.4.1](#), вызывает сомнения ввиду их геометрической конфигурации и/или величины возникающих в них напряжений, Регистр вправе запрашивать для них расчет усталостной долговечности.

## 1.5 ПРАВИЛА ЗНАКОВ

### 1.5.1 Правила знаков для изгибающих моментов.

.1 вертикальный изгибающий момент, вызывающий перегиб судна, считается положительным, а вызывающий прогиб судна — отрицательным;

.2 горизонтальный изгибающий момент считается положительным во всех случаях.

1.5.2 Растягивающие напряжения считаются положительными, сжимающие напряжения — отрицательными.

## 1.6 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.6.1 В настоящем Руководстве приняты следующие определения и пояснения.

Горячие точки — места в конструкции, где усталостные трещины могут возникать ввиду совокупного влияния эффекта циклического изменения номинальных напряжений и концентраторов напряжений, возникающих ввиду конструктивно-технологических особенностей соединения ([см. рис. 1.6.1](#)).

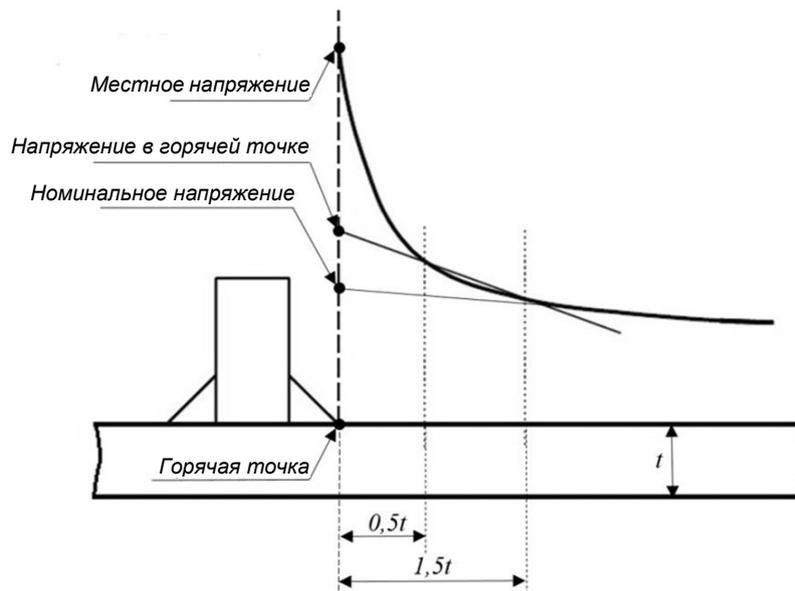


Рис. 1.6.1

Номинальное напряжение — напряжение в элементе конструкции, учитывающее только макрогеометрический эффект. Концентрация напряжений, возникающая из-за конструктивных особенностей соединения и наличия привариваемых деталей, не учитывается.

Напряжение в горячей точке — напряжение в крайней точке сварного шва с учетом концентрации напряжений, вызванной конструктивными особенностями соединения и наличием привариваемых деталей, но без учета нелинейного пика напряжения, обусловленного локальными технологическими особенностями сварного шва.

Местное напряжение — напряжение в крайней точке сварного шва с учетом нелинейного пика напряжений, обусловленного локальными технологическими особенностями сварного шва (выемка у кромки и т.п.).

Размах напряжений — разность между наибольшим и наименьшим напряжением, определяется для каждой из всех возможных комбинаций случаев действия нагрузок и загрузок, определяемых согласно [2.1.2](#).

**1.7 ЧАСТИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАПАСА**

**1.7.1** Частичные коэффициенты запаса определяются согласно [табл. 1.7.1](#).

Таблица 1.7.1

Корректируемые расчетные величины	Обозначение	Значение	
		Общий	Для деталей, находящихся на пересечении продольных балок основного набора с рамными связями
Нагрузки на тихой воде, возникающие вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения	$\gamma_{s1}$	1,00	1,00
Волновые нагрузки, возникающие вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения	$\gamma_{w1}$	1,05	1,15
Статическое давление	$\gamma_{s2}$	1,00	1,00
Волновое давление	$\gamma_{w2}$	1,10	1,20
Соппротивление материала	$\gamma_R$	1,02	1,10

## 2 НАГРУЗКИ

### 2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**2.1.1** Точки приложения расчетной нагрузки принимаются согласно 1.3.1.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов.

В случае, когда размах напряжений определяется методом конечных элементов, к модели должны быть приложены распределенные нагрузки.

**2.1.2** Нагрузки для оценки усталостной долговечности состоят из нагрузок, возникающих вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения, а также из местных давлений со стороны моря, перевозимого груза, топлива и балласта. Нагрузки определяются для каждого случая действия нагрузок «а», «b», «с» и «d» при двух, принятых согласно Информации об остойчивости, случаях загрузки, соответствующих минимальной и максимальной осадкам на миделе (величины, связанные с этими случаями, обозначаются индексами *B* и *F* соответственно).

**2.1.3** Каждый из случаев действия нагрузок «а», «b», «с» и «d» включает два расчетных случая «max» и «min» для которых давления со стороны моря и со стороны перевозимого груза, топлива и балласта, а также соответствующие нагрузки, возникающие вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения, определяются в [2.2](#) и [2.3](#) соответственно.

**2.1.4** В целях обеспечения наличия в символе класса знака подтверждения усталостной долговечности судна **FTL (years) Spectral North Atlantic** нагрузки, необходимые для расчета усталостной долговечности спектральным методом, определяются с помощью гидродинамического анализа с учетом основных характеристик судна. Информация о математической модели, методике расчета, а также промежуточные результаты расчета, такие как давления на панели при различных частотах и курсовых углах, должны быть представлены Регистру для согласования.

**2.1.5** Расчетная высота волны  $h$ , м, рассчитывается по следующим формулам:

$$h = 5,5 - 0,5 \left( \frac{275-L}{100} \right)^{3/2} \quad \text{при } 150 < L \leq 275 \text{ м;} \quad (2.1.5-1)$$

$$h = 5,5 \quad \text{при } L > 275 \text{ м.} \quad (2.1.5-2)$$

### 2.2 ДАВЛЕНИЯ СО СТОРОНЫ МОРЯ, ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА, ТОПЛИВА И БАЛЛАСТА

**2.2.1** Давления определяются с учетом осадки, соответствующей рассматриваемому случаю загрузки согласно [2.1.2](#).

**2.2.2** Давления подразделяются на статические и волновые, вызванные действием моря ( $p_{st}$ ,  $p_w$ ) и различных типов груза, топлива и балласта ( $p_{r.st}$ ,  $p_{r.in}$ ) и определяются согласно [2.2.3 — 2.2.7](#). Суммарные давления со стороны моря  $p$ , а также от перевозимого груза, топлива и балласта  $p_r$  определяются по следующим формулам:

$$p = \gamma_{s2} p_{st} + \gamma_{w2} p_w; \quad (2.2.2-1)$$

$$p_r = \gamma_{s2} p_{r.st} + \gamma_{w2} p_{r.in}. \quad (2.2.2-2)$$

#### **2.2.3 Статические давления со стороны груза, топлива и балласта.**

**.1** статическое давление со стороны груза  $p_{r.st}$ , кПа, на перекрытия грузовых палуб, платформ, двойного дна от штучного груза определяется по формуле:

$$p_{r.st} = \rho_r g h_r, \quad (2.2.3.1)$$

где  $h_r$  – расчетная высота укладки груза, м.

.2 статическое давление со стороны груза  $p_{г.st}$ , кПа, на конструкции, ограничивающие отсеки, предназначенные для перевозки жидких грузов, а также балластные и топливные цистерны, определяется как наибольшее из следующих расчетных давлений:

$$p_{г.st} = 0,75\rho_{ж}g(z_i + \Delta z); \quad (2.2.3.2-1)$$

$$p_{г.st} = \rho_{ж}gz_i + p_{к}, \quad (2.2.3.2-2)$$

где  $z_i$  – отстояние рассматриваемой связи от уровня палубы (крыши цистерны), измеренное в диаметральной плоскости, м;

$\Delta z$  – высота воздушной трубы над палубой (крышей цистерны), м, но не менее 1,5 м для балластных цистерн сухогрузных судов и цистерн пресной воды, 2,5 м для танков наливных судов и цистерн топлива и масла; минимальные ограничения значения  $\Delta z$  не устанавливаются для малых расширительных и масляных цистерн вместимостью менее 3 м<sup>3</sup>;

$p_{к}$  – давление, кПа, на которое отрегулирован предохранительный клапан, если он установлен, но не менее 15 кПа для балластных цистерн сухогрузных судов и цистерн пресной воды, 25 кПа для танков наливных судов и цистерн топлива и масла; минимальные ограничения значения  $p_{к}$  не устанавливаются для малых расширительных и масляных цистерн вместимостью менее 3 м<sup>3</sup>.

.3 статическое давление со стороны груза  $p_{г.st}$ , кПа, на конструкции, ограничивающие трюм для навалочного груза, определяются по следующей формуле:

$$p_{г.st} = \rho_{г}gk_{г}z_i, \quad (2.2.3.3-1)$$

$$\text{где } k_{г} = \sin^2 \alpha \cdot \tan^2(45^\circ - \varphi_{в.т}/2) + \cos^2 \alpha \quad (2.2.3.3-2)$$

или

$$k_{г} = \cos \alpha, \quad (2.2.3.3-3)$$

в зависимости от того, что больше;

$\alpha$  – угол наклона стенки к основной плоскости, град;

$\varphi_{в.т}$  – угол внутреннего трения навалочного груза, град;

$z_i$  – отстояние по вертикали от уровня свободной поверхности груза до точки приложения нагрузки, м.

## 2.2.4 Определение величин нагрузок для различных случаев действия нагрузок.

### 2.2.4.1 Случай действия нагрузок «а».

.1 статическое давление со стороны моря определяется согласно 1.3.2.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

.2 волновые давления со стороны моря определяются согласно [табл. 2.2.4.1.2-1](#);

Таблица 2.2.4.1.2-1

Расположение	Волновое давление $p_w$ , кПа	
	«а-max»	«а-min»
Днище и борта ниже расчетной ватерлинии $z_1 \leq 0$	$\alpha^{1/4}\rho gh_1 \left(1 + \frac{z_1}{2d_1}\right)$	$-\alpha^{1/4}\rho gh_1 \left(1 + \frac{z_1}{2d_1}\right)$ , но не менее $-\frac{\gamma_s}{\gamma_w}\rho gz_1$
Борта выше расчетной ватерлинии $z_1 > 0$	$\rho g(\alpha^{1/4}h_1 - z_1)$	0

$\alpha = d_1/d$ , но не больше чем 1;  
 $h_1$  – относительное перемещение корпуса судна относительно профиля волны в случае «а», определяется согласно [табл. 2.2.4.1.2-2](#)

Таблица 2.2.4.1.2-2

Положение сечения по длине судна	$h_1$
$x = 0$	$0,7 \left( \frac{4,35}{\sqrt{C_b}} - 3,25 \right) h_{1M}$ при $C_b < 0,875$ $h_{1M}$ при $C_b < 0,875$
$0 < x/L < 0,3$	$h_{1AE} - \frac{h_{1AE} - h_{1M} x}{0,3} \frac{x}{L}$
$0,3 \leq x/L \leq 0,7$	$0,42 \varphi_r c_w (C_b + 0,7)$ , но не более чем меньшая из двух величин $d_1$ и $(D - 0,9d)$
$0 < x/L$	$h_{1AE} + \frac{h_{1FE} - h_{1M}}{0,3} \left( \frac{x}{L} - 0,7 \right)$
$x = L$	$\left( \frac{4,35}{\sqrt{C_b}} - 3,25 \right) h_{1M}$

$c_w$  – волновой коэффициент, определяемый в зависимости от длины судна согласно 1.3.1.4 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;  
 $h_{1AE}$  – значение  $h_1$ , посчитанное для  $x = 0$ ;  
 $h_{1M}$  – значение  $h_1$ , посчитанное для  $x/L = 0,5$ ;  
 $h_{1FE}$  – значение  $h_1$ , посчитанное для  $x = L$

.3 статические давления со стороны груза, топлива и балласта определяются согласно [2.2.3](#);

.4 инерционные давления со стороны груза не учитываются.

#### 2.2.4.2 Случай действия на грузок «b».

.1 гидростатическое давление со стороны моря определяется согласно 1.3.2.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

.2 волновые давления со стороны моря не учитываются;

.3 статические давления со стороны груза, топлива и балласта определяются согласно [2.2.3](#);

.4 инерционные давления со стороны груза определяются согласно [табл. 2.2.4.2.4-1](#). Самая высокая точка цистерны  $H$  в направлении суммарного вектора определяется как точка на границе цистерны, проекция которой на направление суммарного вектора ускорения расположена на наибольшем расстоянии от центра тяжести цистерны.

Компоненты суммарного вектора ускорения определяются согласно [табл. 2.2.4.2.4-2](#). Суммарный вектор ускорения  $a_T$  показан на [рис. 2.2.4.2.4](#).

Таблица 2.2.4.2.4-1

Тип груза	Расчетный случай	Инерционные давления, кПа
Жидкий	«b-max»	$p_{r.in} = \rho_{ж}[-0,5a_x l - a_z z_i]$
	«b-min»	$p_{r.in} = \rho_{ж}[0,5a_x l + a_z z_i]$
	«c-max» «d-max»	$p_{r.in} = \rho_{ж} \left[ 0,7 C_{FI} \sqrt{a_{cy}^2 + (a_{6y} + g \sin \theta)^2} (y - y_H) + (-0,7 C_{FI} a_z - g)(z - z_H) - g z_i \right]$
	«c-min» «d-min»	$p_{r.in} = \rho_{ж} \left[ -0,7 C_{FI} \sqrt{a_{cy}^2 + (a_{6y} + g \sin \theta)^2} (y - y_H) + (0,7 C_{FI} a_z - g)(z - z_H) - g z_i \right]$
Сухой	«b-max»	$p_{r.in} = -\rho_r a_z z_i \{ \sin^2 \alpha \tan^2 (45^\circ - \varphi_{в.т}/2) + \cos^2 \alpha \}$
	«b-min»	$p_{r.in} = \rho_r a_z z_i \{ \sin^2 \alpha \tan^2 (45^\circ - \varphi_{в.т}/2) + \cos^2 \alpha \}$

Тип груза	Расчетный случай	Инерционные давления, кПа
Сухой (продолжение)	«с-max» «с-min» «d-max» «d-min»	Инерционные давления допускается не учитывать. В исключительных случаях определение давлений является предметом специального рассмотрения Регистра
$\alpha$	– угол наклона стенки к основной плоскости, град;	
$\varphi_{в.т}$	– угол внутреннего трения навалочного груза, град;	
$a_x, a_y, a_z$	– расчетные ускорения, м/с <sup>2</sup> , определяется согласно 1.3.3.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;	
$a_{cy}, a_{\delta y}$	– расчетные ускорения, м/с <sup>2</sup> , определяется согласно 1.3.3.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;	
$C_{FI}$	– коэффициент сочетания нагрузок равный: $C_{FI} = 0,7$ для случая «с»; $C_{FI} = 1$ для случая «d»;	
$l$	– длина отсека, измеренная на середине его высоты, м;	
$\theta$	– угол крена при бортовой качке, рад, определяется согласно формуле (1.3.3.1-5) части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;	
$y_H, z_H$	– координаты самой высокой точки цистерны $H$ в направлении суммарного вектора ускорения, определяемой согласно <a href="#">табл. 2.2.4.2.4-2</a> и <a href="#">рис. 2.2.4.2.4</a> ;	
$z_i$	– отстояние по вертикали до точки приложения нагрузки, м: для сухого груза – от уровня свободной поверхности груза; для жидкого груза, топлива или балласта – от уровня палубы (крыши цистерны), измеренное в диаметральной плоскости	

Таблица 2.2.4.2.4-2

Компоненты ускорения (при отрицательном угле качки)		Угол $\Theta$ , рад., между суммарным вектором ускорения и вертикалью
$a_{Ty}, \text{ м/с}^2$	$a_{Tz}, \text{ м/с}^2$	$\text{arctg} \frac{a_{Ty}}{a_{Tz}}$
$0,7C_{FI} \sqrt{a_{cy}^2 + (a_{\delta y} + g \sin\theta)^2}$	$-0,7C_{FI}a_z - g$	

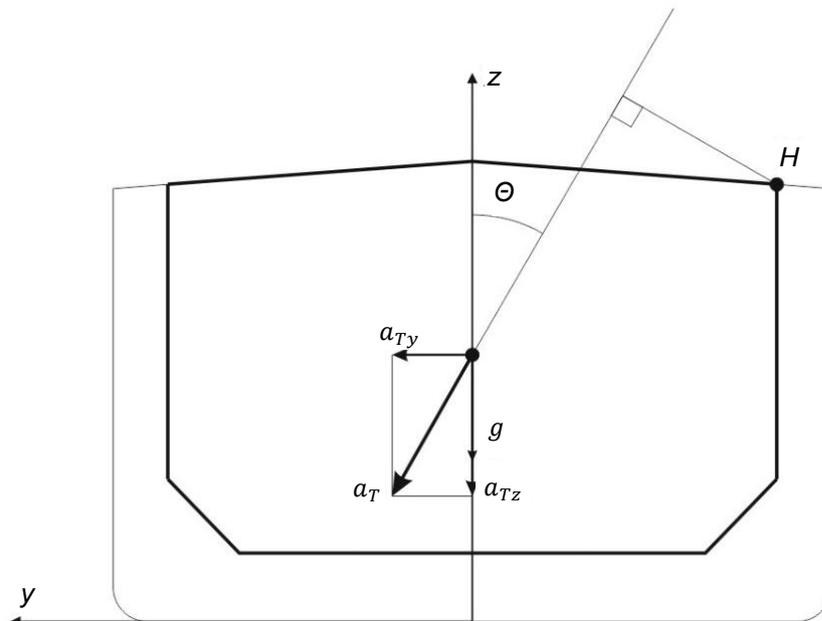


Рис. 2.2.4.2.4

### 2.2.4.3 Случай действия нагрузок «с».

- .1 статическое давление со стороны моря определяется согласно 1.3.2.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;
- .2 волновые давления со стороны моря определяются согласно [табл. 2.2.4.3.2](#);

Таблица 2.2.4.3.2

Расположение		Волновое давление $p_w$ , кПа	
		«с-max»/«d-max»	«с-min»/«d-min»
Днище и борта ниже расчетной ватерлинии $z_1 \leq 0$	$y \geq 0$	$C_{FW} \alpha^{1/4} \rho g h_2 \frac{ y }{B_w} \left(2 + \frac{z_1}{d_1}\right)$	$-C_{FW} \alpha^{1/4} \rho g h_2 \frac{ y }{B_w} \left(2 + \frac{z_1}{d_1}\right)$ , но не менее $-\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rho g z_1$
	$y < 0$	$-C_{FW} \alpha^{1/4} \rho g h_2 \frac{ y }{B_w} \left(2 + \frac{z_1}{d_1}\right)$ , но не менее $-\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rho g z_1$	$C_{FW} \alpha^{1/4} \rho g h_2 \frac{ y }{B_w} \left(2 + \frac{z_1}{d_1}\right)$
Борта выше расчетной ватерлинии $z_1 > 0$	$y \geq 0$	$\rho g \left[2C_{FW} \alpha^{1/4} h_2 \frac{ y }{B_w} - z_1\right]$	0
	$y < 0$	0	$\rho g \left[2C_{FW} \alpha^{1/4} h_2 \frac{ y }{B_w} - z_1\right]$

$\alpha = d_1/d$ , но не больше чем 1;  
 $\frac{|y|}{B_w}$  должно приниматься не больше 0,5;  
 $C_{FW}$  – коэффициент сочетания нагрузок равный:  
 $C_{FW} = 1$  для случая «с»;  
 $C_{FW} = 0,5$  для случая «d»;  
 $h_2$  – относительное перемещение корпуса судна относительно профиля волны в случаях «с» и «d» определяется по следующей формуле:  

$$h_2 = 0,5h_1 + \theta \frac{B_w}{2},$$
где  $\theta$  – угол крена при бортовой качке, рад, определяется согласно формуле (1.3.3.1-5) части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;  
 $h_1$  – относительное перемещение корпуса судна относительно профиля волны в случае «а», определяется согласно [табл. 2.2.4.1.2-2](#);  
при этом  $h_2$  принимается не более чем меньшая из двух величин  $d_1$  и  $(D - 0,9d)$

.3 статические давления со стороны груза, топлива и балласта определяются согласно [2.2.3](#);

.4 инерционные давления со стороны груза определяются согласно [табл. 2.2.4.2.4-1](#).

#### 2.2.4.4 Случай действия нагрузок «d».

.1 гидростатическое давление со стороны моря определяется согласно 1.3.2.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов;

.2 волновые давления со стороны моря определяются согласно [табл. 2.2.4.3.2](#);

.3 статические давления со стороны груза, топлива и балласта определяются согласно [2.2.3](#);

.4 инерционные давления со стороны груза определяются согласно [табл. 2.2.4.2.4-1](#).

## 2.3 НАГРУЗКИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ВСЛЕДСТВИЕ РАБОТЫ СУДНА КАК БАЛКИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СЕЧЕНИЯ

**2.3.1** Вертикальный изгибающий момент на тихой воде  $M_{sw}$ , кН·м определяется согласно Информации об остойчивости для расчетного случая загрузки.

**2.3.2** Волновые изгибающие моменты, действующие в вертикальной плоскости и вызывающие прогиб  $M_{w,s}$ , кН·м и перегиб  $M_{w,h}$ , кН·м судна, определяются согласно 1.4.4 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов.

**2.3.3** Волновой изгибающий момент, действующий в горизонтальной плоскости  $M_h$ , кН·м рассчитывается по следующей формуле:

$$M_h = \psi_0 \varphi_r h_0 k_0 B L^2 \varphi_{xh}, \quad (2.3.3-1)$$

$$\text{где } k_0 = 0,9 C_b \left(1 - \frac{4d_1}{L}\right) d_1 / B; \quad (2.3.3-2)$$

$$\varphi_{xh} = \sin^2(\pi x / L); \quad (2.3.3-3)$$

$$\psi_0 = (0,895 - 0,5L \cdot 10^{-3}) \left(1/2 \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) + 3/2\right); \quad (2.3.3-4)$$

$$h_0 = 0,5 \left(1 + \frac{0,15L}{100}\right) h, \quad (2.3.3-5)$$

где  $h$  – расчетная высота волны определяется согласно [2.1.5](#).

### 3 НАПРЯЖЕНИЯ

#### 3.1 НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ МЕСТНЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ

**3.1.1** Нормальные напряжения, вызванные местными давлениями, Н/мм<sup>2</sup>, определяются для каждого расчетного случая «a-max», «a-min», «b-max», «b-min», «c-max», «c-min», «d-max» и «d-min» и каждого случая загрузки  $B$  и  $F$  по следующей формуле:

$$\sigma_l = \frac{|p-p_r|al^2 10^3}{12W'}, \quad (3.1.1)$$

где  $W'$  – момент сопротивления рассматриваемой балки с учетом присоединенного пояска и без учета запаса на износ, см<sup>3</sup>;

$a$  – ширина присоединенного пояска, определяемая согласно 1.6.3.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов, м;

$l$  – длина пролета рассматриваемой балки, определяемая согласно 1.6.3.1 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов, м.

#### 3.2 НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ВСЛЕДСТВИЕ РАБОТЫ СУДНА КАК БАЛКИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СЕЧЕНИЯ

**3.2.1** Нормальные напряжения, вызванные действием вертикального изгибающего момента на тихой воде, Н/мм<sup>2</sup>, определяются по следующей формуле:

$$\sigma_{sw} = \frac{M_{sw}}{I_y} (z - e) 10^{-3}, \quad (3.2.1)$$

где  $M_{sw}$  – вертикальный изгибающий момент на тихой воде согласно [2.3.1](#), кН·м.

**3.2.2** Суммарные нормальные напряжения, возникающие вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения для конструктивных элементов, вовлеченных в общий изгиб, определяются по следующей формуле:

$$\sigma_h = \gamma_{s1} \sigma_{sw} + \gamma_{w1} (C_{FV} \sigma_{wv} + C_{FH} \sigma_{wh}), \quad (3.2.2)$$

где  $\sigma_{sw}$  – нормальные напряжения, возникающие вследствие действия вертикального изгибающего момента на тихой воде, определяется согласно [3.2.1](#);

$\sigma_{wv}, \sigma_{wh}$  – нормальные напряжения, возникающие вследствие действия волновых изгибающих моментов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно, определяются согласно [табл. 3.2.2-1](#);

$C_{FV}, C_{FH}$  – коэффициенты сочетания нагрузок, определяются в зависимости от случая действия нагрузок в соответствии с [табл. 3.2.2-2](#).

Для конструктивных элементов, не вовлеченных в общий изгиб судна  $\sigma_h = 0$ .

Таблица 3.2.2-1

Расчетный случай	$\sigma_{wv}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{wh}$ , Н/мм <sup>2</sup>
«a-max»	$0,625 \frac{M_{w,h}}{I_y} (z - e) 10^{-3}$	0
«a-min»	$0,625 \frac{M_{w,s}}{I_y} (z - e) 10^{-3}$	0
«b-max» «b-min»	0	0
«c-max» «d-max»	0	$-\frac{M_h}{I_z} y 10^{-3}$

Расчетный случай	$\sigma_{wz}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{wh}$ , Н/мм <sup>2</sup>
«с-min» «d-min»	0	$\frac{M_h}{I_z} y 10^{-3}$

Таблица 3.2.2-2

Случай действия нагрузок	$C_{FV}$	$C_{FH}$
«a»	1	0
«b»	1	0
«с»	0,4	1
«d»	0,4	1

### 3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМАХА НАПРЯЖЕНИЙ

#### 3.3.1 Размах напряжений в горячих точках.

**3.3.1.1** Размах напряжений в горячих точках для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными переборками, а также с поперечными рамными связями определяется для каждого из случаев действия нагрузок «a», «b», «с» и «d»,

**.1** размах напряжений в горячих точках  $\Delta\sigma_{G,ij}$ , Н/мм<sup>2</sup>, для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными переборками и сплошными флорами, установленными под поперечными переборками или под опорами поперечных переборок, определяется по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{G,ij} = |\sigma_{G,i-\max} - \sigma_{G,i-\min}| + K_L \Delta\sigma_{DEF,ij}, \quad (3.3.1.1.1-1)$$

$$\text{где } \sigma_{G,i-\max} = K_N (K_H \sigma_h + K_L K_S \sigma_l)_{i-\max}; \quad (3.3.1.1.1-2)$$

$$\sigma_{G,i-\min} = K_N (K_H \sigma_h + K_L K_S \sigma_l)_{i-\min}; \quad (3.3.1.1.1-3)$$

$\Delta\sigma_{DEF,ij}$  – напряжения, Н/мм<sup>2</sup>, возникающие вследствие относительных перемещений опорных сечений балок основного набора, определяется по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{DEF,ij} = \frac{4(\Delta\delta)EI}{W'l^2} 10^{-5}, \quad (3.3.1.1.1-4)$$

где  $\Delta\delta$  – диапазон локальных перемещений, мм, определяется с помощью метода конечных элементов по результатам расчета для случаев  $i - \max$  и  $i - \min$ ;

$\sigma_h$  – нормальное напряжение, Н/мм<sup>2</sup>, возникающее вследствие работы судна как балки эквивалентного сечения, определяются согласно [3.2.2](#);

$\sigma_l$  – нормальное напряжение, Н/мм<sup>2</sup>, вызванное местными давлениями, определяется согласно [3.1.1](#);

$I$  – момент инерции балки относительно нейтральной оси, параллельной присоединенному пояску, определяется с учетом присоединенного пояска с шириной согласно 1.6.3.3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов, см<sup>4</sup>;

$K_N$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации в Северной Атлантике, принимается  $K_N = 1$ ;

$K_S$  – коэффициент, учитывающий геометрию профиля, определяется по формуле, (но не менее 1):

$$K_S = 1 + \left[ \frac{t_f(a^2 - b^2)}{2W_B} \right] \left[ 1 - \frac{b}{a+b} \left( 1 + \frac{W_B}{W_A} \right) \right] 10^{-3}, \quad (3.3.1.1.1-5)$$

где  $a, b$  – эксцентриситеты профиля, мм, определяемые согласно [рис. 3.3.1.1](#), при этом для балок полособульбового сечения принимаются размеры эквивалентного углового профиля как определено ниже с  $a = 0,75b_f$ ,  $b = 0,25b_f$ ;

при использовании полособульбов европейских стандартов HP (DIN) для определения высоты стенки  $h_w$ , толщины стенки  $t_w$  ширины свободного пояска  $b_f$  и толщины свободного пояска  $t_f$  эквивалентного уголка применяются следующие формулы:

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9,2} + 2;$$

$$b_f = \varphi_1(t'_w + \frac{h'_w}{6,7} - 2);$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9,2} - 2;$$

$$t_w = t'_w,$$

где  $\varphi_1 = 1,1 + \frac{(120-h'_w)^2}{3000}$  при  $h'_w \leq 120$ ;

$$\varphi_1 = 1 \text{ при } h'_w > 120;$$

при использовании полосоубльбов отечественного стандарта ГОСТ 21937-76:

$$h_w = h'_w - t_f;$$

$$t_f = \frac{h'_w \alpha_1}{9,8} + 3,4\beta_1;$$

$$b_f = t'_w + \frac{h'_w \alpha_2}{8,1} + 5,6\beta_2;$$

$$t_w = t'_w,$$

где коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  принимаются согласно [табл. 3.3.1.1](#);

$W_A, W_B$  – моменты сопротивления сечения без присоединенного пояса, см<sup>3</sup>, относительно его нейтральной оси, параллельной стенке балки, посчитанные для точек *A* и *B* соответственно.

Таблица 3.3.1.1

Профили по ГОСТ 21937-76	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$
Профили с $h'_w < 120$	1,23	0,66	1,07	0,77
Профили типа «а»	1,00	1,00	1,00	1,00
Профили типа «б»	0,90	1,66	1,04	0,79

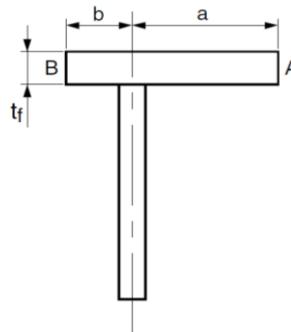


Рис. 3.3.1.1

**.2** размах напряжений в горячих точках  $\Delta\sigma_{G,ij}$ , Н/мм<sup>2</sup>, для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными рамными связями, отличными от приведенных в 3.3.1.1.1, определяется по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{G,ij} = |\sigma_{G,i-\max} - \sigma_{G,i-\min}| \quad (3.3.1.1.2)$$

**3.3.1.2** Размах напряжений в горячих точках для узлов, определение напряженного состояния которых осуществляется методом конечных элементов, рассчитывается следующим образом:

**.1** размах номинальных напряжений в горячих точках определяется с помощью метода конечных элементов по результатам расчета для случаев  $i - \max$  и  $i - \min$  для каждого из случаев загрузки  $j$  отдельно по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{n,ij} = |\sigma_{n,ij-\max} - \sigma_{n,ij-\min}|, \quad (3.3.1.2.1)$$

где  $\sigma_{n,ij-\max}, \sigma_{n,ij-\min}$  – максимальное и минимальное значение номинальных напряжений, Н/мм<sup>2</sup>, определенные по результатам расчета методом конечных элементов модели нагруженной для

случаев  $i - \max$  и  $i - \min$  соответственно. Направление номинальных напряжений для соответствующих деталей указано в [приложении 2](#);

.2 формулы для определения размаха напряжений в горячих точках приведены в [приложении 2](#) в соответствующих таблицах для каждого конструктивного узла. В случае, если формулы для расчета размаха напряжений в горячих точках в [приложении 2](#) отсутствуют, размах напряжений в горячих точках определяется по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{G,ij} = K_S \Delta\sigma_{n,ij}, \quad (3.3.1.2.2)$$

где  $K_S$  – коэффициент концентрации напряжений, указан для соответствующих деталей в [приложении 2](#);

$\Delta\sigma_{n,ij}$  – размах номинальных напряжений в горячих точках, Н/мм<sup>2</sup>, определяется согласно [3.3.1.2.1](#);

.3 размеры конечно-элементной модели, а также граничные условия должны обеспечивать учет нагрузок от работы судна как балки эквивалентного сечения. Размеры конечных элементов и качество сетки должны обеспечивать учет макрогеометрических эффектов и стабильность счета. Допускается получение размахов напряжений в горячих точках непосредственно по результатам расчета модели, позволяющей учесть увеличение напряжений, вызванное конструктивными особенностями соединения и наличием привариваемых деталей;

.4 в Регистр должен быть предоставлен документ, содержащий информацию о расчете методом конечных элементов. Такой документ должен включать в себя информацию об исходных данных, нагрузках, граничных условиях, методике расчета, а также полученные результаты.

**3.3.2** Размах местных напряжений  $\Delta\sigma_{N,ij}$ , Н/мм<sup>2</sup>, для каждого из случаев действия нагрузок «a», «b», «c» и «d» определяется по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_{N,ij} = K_{C,ij} \Delta\sigma_{N0,ij}, \quad (3.3.2-1)$$

$$\text{где } \Delta\sigma_{N0,ij} = 0,7 K_F \Delta\sigma_{G,ij}, \quad (3.3.2-2)$$

где  $\Delta\sigma_{G,ij}$  – размах напряжений в горячих точках, Н/мм<sup>2</sup>, определяется:

для узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными переборками, а также с флорами и другими поперечными рамными связями согласно [3.3.1.1](#);

для узлов, определение напряженного состояния которых осуществляется методом конечных элементов согласно [3.3.1.2](#);

$K_F$  – коэффициент, рассчитываемый по следующей формуле:

$$K_F = \lambda \sqrt{\frac{\theta}{30}}, \quad (3.3.2-3)$$

для кромок деталей, полученных газопламенной резкой,  $K_F$  может приниматься по [табл. 3.3.2-2](#) в зависимости от качества резки, последующей обработки и контроля качества;

$\lambda$  – коэффициент, зависящий от типа сварного шва, определяется по [табл. 3.3.2-1](#);

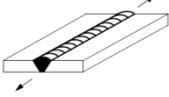
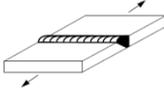
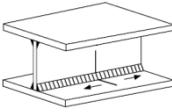
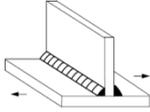
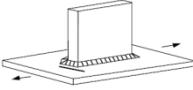
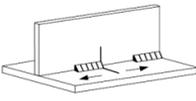
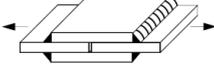
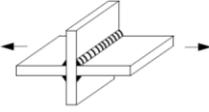
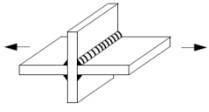
$\theta$  – угол катета сварного шва, град, минимум 30°. В случае если не определено иное, может приниматься:

$\theta = 30^\circ$  – для стыковых соединений;

$\theta = 45^\circ$  – для тавровых, угловых и крестообразных соединений;

$K_{C,ij} = \frac{0,4 R_{eH}}{\Delta\sigma_{N0,ij}} + 0,6$  при этом  $0,8 \leq K_{C,ij} \leq 1$ .

Таблица 3.3.2-1

Конфигурация сварного шва				Коэффициент $\lambda$	Обработка сварного шва
Тип	Описание	Направление напряжений	Рисунок		
Стыковой шов		Параллельно сварному шву		2,10	Да
		Перпендикулярно сварному шву		2,40	Да
Угловой шов	Непрерывный	Параллельно сварному шву		1,80	Да
		Перпендикулярно сварному шву <sup>1</sup>		2,15	Да
	С замкнутыми концами	Перпендикулярно сварному шву		2,15	Да
	Прерывистый	Параллельно сварному шву		2,90	Да
	Внахлестку	Перпендикулярно сварному шву		4,50	Нет
Крестовое соединение	Полный провар	Перпендикулярно сварному шву		2,10	Да
	Неполный провар	Перпендикулярно сварному шву		Трещина у кромки 2,10	Да
				Трещина у корня 4,50	Нет

<sup>1</sup> Коэффициент также применим при расчете усталостной долговечности узлов пересечения продольных балок основного набора с поперечными рамными связями.

Таблица 3.3.2-2

Описание свойств свариваемых кромок	$K_F$
Автоматическая резка газом, с последовательной обработкой и шлифовкой	1,4
Автоматическая термическая резка, с удалением углов и проверкой на отсутствие трещин	1,6
Ручная термическая резка, без трещин и крупных неровностей	2,0
Ручная термическая резка, без контроля и с неровностями не глубже чем 0,5 мм	2,5

## 4 УСТАЛОСТНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

### 4.1 ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ УСТАЛОСТНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

**4.1.1** Элементарные усталостные повреждения определяются по следующей формуле:

$$D_{ij} = \frac{N_t}{K_p} \frac{(\Delta\sigma_{N,ij})^3}{(-\ln p_R)^{3/\xi}} \mu_{ij} \Gamma_C \left[ \frac{3}{\xi} + 1 \right], \quad (4.1.1-1)$$

где  $\Delta\sigma_{N,ij}$  – размах местных напряжений, Н/мм<sup>2</sup>, определяемый согласно [3.3.2](#);

$$\mu_{ij} = 1 - \frac{\Gamma_N \left[ \frac{3}{\xi} + 1, v_{ij} \right] - \Gamma_N \left[ \frac{5}{\xi} + 1, v_{ij} \right] v_{ij}^{-2/\xi}}{\Gamma_C \left[ \frac{3}{\xi} + 1 \right]}; \quad (4.1.1-2)$$

$$\xi = \xi_0 \left( 1,04 - 0,14 \frac{|z_1|}{D-d_1} \right), \quad \text{но не менее чем } 0,9\xi_0; \quad (4.1.1-3)$$

$$\xi_0 = \frac{73-0,07L}{60}, \quad \text{но не менее чем } 0,85; \quad (4.1.1-4)$$

$$v_{ij} = - \left( \frac{S_q}{\Delta\sigma_{N_0,ij}} \right)^\xi \ln p_R; \quad (4.1.1-5)$$

$$S_q = (K_p 10^{-7})^{1/3}; \quad (4.1.1-6)$$

$$K_p = 5,802 \left( \frac{22}{t} \right)^{0,9} 10^{12}, \quad (4.1.1-7)$$

где  $t$  – толщина, мм, рассматриваемого конструктивного элемента согласно [1.3.3](#), но не менее чем 22 мм;

$N_t = \frac{31,55\alpha_0}{4 \log L} 10^6$  – среднегодовое количество циклов;

$\alpha_0$  – коэффициент времени нахождения в море, принимается равным 0,85;

$p_R = 10^{-5}$ ;

$\Gamma_N[X+1, v_{ij}]$  – неполная гамма-функция, определяется при  $X = 3/\xi$  или  $X = 5/\xi$ , и равна:

$$\Gamma_N[X+1, v_{ij}] = \int_0^{v_{ij}} t^X e^{-t} dt;$$

$\Gamma_C[X+1]$  – полная гамма-функция, определяется при  $X = 3/\xi$  и равна:

$$\Gamma_C[X+1] = \int_0^\infty t^X e^{-t} dt.$$

Допускается определять  $\Gamma_N[X+1, v_{ij}]$  по [табл. 4.1.1-1](#). Для промежуточных значений  $X$  и  $v_{ij}$  определение  $\Gamma_N$  осуществляется линейной интерполяцией.

Допускается определять  $\Gamma_C[X+1]$  по [табл. 4.1.1-2](#). Для промежуточных значений  $X$  определение  $\Gamma_C$  осуществляется линейной интерполяцией.

### 4.2 СУММАРНЫЕ УСТАЛОСТНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

**4.2.1** Суммарные усталостные повреждения для судна при загрузке, соответствующей максимальной осадке на миделе  $F$ , определяются как:

$$D_F = \frac{1}{6} D_{aF} + \frac{1}{6} D_{bF} + \frac{1}{3} D_{cF} + \frac{1}{3} D_{dF}, \quad (4.2.1)$$

где  $D_{aF}, D_{bF}, D_{cF}, D_{dF}$  – элементарные усталостные повреждения для случаев действия нагрузок «а», «b», «с» и «d» соответственно, в случае загрузки, соответствующем максимальной осадке на миделе согласно [2.1.2](#).

**4.2.2** Суммарные усталостные повреждения для судна при загрузке, соответствующей минимальной осадке на миделе  $B$ , определяются как:

$$D_B = \frac{1}{3}D_{aB} + \frac{1}{3}D_{bB} + \frac{1}{3}D_{cB}, \quad (4.2.2)$$

где  $D_{aB}$ ,  $D_{bB}$ ,  $D_{cB}$  – элементарные усталостные повреждения для случаев действия нагрузок «а», «b» и «с», соответственно, в случае загрузки, соответствующем минимальной осадке на миделе согласно [2.1.2](#).

Таблица 4.1.1-1

$X$	$v_{ij}$									
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
2,5	0,38	0,73	1,13	1,53	1,90	2,22	2,48	2,70	2,86	2,99
2,6	0,38	0,75	1,19	1,63	2,04	2,41	2,71	2,96	3,16	3,31
2,7	0,39	0,78	1,25	1,73	2,20	2,62	2,97	3,26	3,49	3,67
2,8	0,39	0,80	1,31	1,85	2,38	2,85	3,26	3,60	3,87	4,09
2,9	0,39	0,83	1,38	1,98	2,57	3,11	3,58	3,98	4,30	4,56
3,0	0,39	0,86	1,45	2,12	2,78	3,40	3,95	4,41	4,79	5,09
3,1	0,40	0,89	1,54	2,27	3,01	3,72	4,35	4,89	5,34	5,70
3,2	0,40	0,92	1,62	2,43	3,27	4,08	4,81	5,44	5,97	6,40
3,3	0,41	0,95	1,72	2,61	3,56	4,48	5,32	6,06	6,68	7,20
3,4	0,41	0,99	1,82	2,81	3,87	4,92	5,90	6,76	7,50	8,11
3,5	0,42	1,03	1,93	3,03	4,22	5,42	6,55	7,55	8,42	9,15
3,6	0,42	1,07	2,04	3,26	4,60	5,97	7,27	8,45	9,48	10,34
3,7	0,43	1,12	2,17	3,52	5,03	6,59	8,09	9,47	10,68	11,71
3,8	0,43	1,16	2,31	3,80	5,50	7,28	9,02	10,63	12,06	13,28
3,9	0,44	1,21	2,45	4,10	6,02	8,05	10,06	11,94	13,63	15,09
4,0	0,45	1,26	2,61	4,43	6,59	8,91	11,23	13,43	15,42	17,16
4,1	0,45	1,32	2,78	4,80	7,22	9,87	12,55	15,12	17,47	19,54
4,2	0,46	1,38	2,96	5,20	7,93	10,95	14,05	17,05	19,82	22,29
4,3	0,47	1,44	3,16	5,63	8,70	12,15	15,73	19,24	22,51	25,45
4,4	0,48	1,51	3,37	6,11	9,56	13,50	17,64	21,74	25,60	29,10
4,5	0,49	1,57	3,60	6,63	10,52	15,01	19,79	24,58	29,14	33,31
4,6	0,49	1,65	3,85	7,20	11,57	16,70	22,23	27,82	33,20	38,17
4,7	0,50	1,73	4,12	7,82	12,75	18,59	24,98	31,53	37,88	43,49
4,8	0,52	1,81	4,40	8,50	14,04	20,72	28,11	35,75	43,25	50,29
4,9	0,52	1,90	4,71	9,25	15,49	23,11	31,64	40,57	49,42	57,81
5,0	0,53	1,99	5,04	10,07	17,09	25,78	35,65	46,08	56,53	66,52
5,1	0,55	2,09	5,40	10,97	18,86	28,79	40,19	52,39	64,71	76,61
5,2	0,56	2,19	5,79	11,95	20,84	32,17	45,34	59,60	74,15	88,32
5,3	0,57	2,30	6,21	13,03	21,03	35,96	51,19	67,85	85,02	101,9
5,4	0,58	2,41	6,66	14,21	25,46	40,23	57,83	77,29	97,56	117,7
5,5	0,59	2,54	7,14	15,50	28,17	45,03	65,37	88,11	112,0	136,0
5,6	0,61	2,67	7,67	16,92	31,18	50,42	73,93	100,5	128,8	157,3
5,7	0,62	2,80	8,23	18,48	34,53	56,49	83,66	114,7	148,1	182,0
5,8	0,64	2,95	8,84	20,19	32,25	63,33	94,72	131,0	170,4	210,9
5,9	0,65	3,10	9,50	22,07	42,39	71,02	107,3	149,8	196,2	244,4
6,0	0,67	3,26	10,21	41,13	47,00	79,69	121,6	171,2	226,1	283,5
6,1	0,68	3,44	10,98	26,39	52,14	89,45	138,0	195,9	260,6	329,0
6,2	0,70	3,62	11,82	28,87	57,86	100,5	156,5	224,2	300,6	382,1
6,3	0,72	3,81	12,71	31,60	64,24	112,9	177,7	256,8	347,0	444,0
6,4	0,73	4,02	13,68	34,60	71,34	126,9	210,7	294,3	400,7	516,3
6,5	0,75	4,23	14,73	37,90	79,25	142,6	229,2	337,3	463,0	600,6
6,6	0,77	4,46	15,87	41,52	88,07	160,4	260,5	386,9	535,2	699,2

Таблица 4.1.1-2

$X$	$\Gamma_c[X + 1]$	$X$	$\Gamma_c[X + 1]$
2,5	3,332	3,3	8,855
2,6	3,717	3,4	10,136
2,7	4,171	3,5	11,632
2,8	4,694	3,6	13,381
2,9	5,299	3,7	15,431
3,0	6,000	3,8	17,838
3,1	6,813	3,9	20,667
3,2	7,757	4,0	24,000

## 5 РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

### 5.1 ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ

**5.1.1** Продолжительность расчетного периода эксплуатации определяется по следующей формуле:

$$T_{FL} \leq \frac{1}{\gamma_R K_C (\alpha D_F + (1-\alpha) D_B)}, \quad (5.1.1)$$

- где  $\gamma_R$  – коэффициент сопротивления материала согласно [1.7](#);  
 $K_C$  – коэффициент, учитывающий влияние коррозии, принимается:  
 $K_C = 1,5$  – для грузовых танков, предназначенных для перевозки нефти;  
 $K_C = 1,1$  – для балластных танков, с защитой от коррозии;  
 $K_C = 1$  – в других случаях;  
 $\alpha$  – расчетная продолжительность эксплуатации судна при загрузке, соответствующей максимальной осадке, принимается согласно [табл. 5.1.1](#);  
 $D_F$  – суммарные усталостные повреждения для судна при загрузке, соответствующей максимальной осадке на миделе, определяются согласно [4.2.1](#);  
 $D_B$  – суммарные усталостные повреждения для судна при загрузке, соответствующей минимальной осадке на миделе, определяются согласно [4.2.2](#).

Таблица 5.1.1

Словесные характеристики в символе класса	$\alpha$
<b>Oil tanker</b> <b>Gas carrier</b> <b>Oil/bulk carrier</b> <b>Oil/bulk/ore carrier</b> <b>Ore carrier</b> <b>Self-unloading bulk carrier</b> <b>Tanker</b> <b>Bulk carrier</b> <b>Chemical tanker</b>	0,6
Другие	0,75

## ПЕРЕЧЕНЬ ДЕТАЛЕЙ

Таблица 1

## Все суда с продольной системой набора борта

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
1	Район борта: вдоль судна между ахтерпиком и таранной переборкой; по вертикали между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора борта с ребрами жесткости поперечных рамных связей	<a href="#">Приложение 2, табл. 1 — 7</a>

Таблица 2

## Наливные суда и химовозы

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
1	Район борта: вдоль судна между ахтерпиком и таранной переборкой; по вертикали между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора борта с ребрами жесткости поперечных рамных связей	<a href="#">Приложение 2, табл. 1 — 7</a>
2	Часть внутреннего борта и продольной переборки в грузовом районе по вертикали выше половины высоты цистерны, при условии, что ширина цистерны превышает $0,55B$	Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей	<a href="#">Приложение 2, табл. 8 — 14</a>
3	Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 15 — 17</a>
		Соединения второго дна с поперечными переборками или нижними опорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 18</a>
4	Двойное дно в районе скуловых цистерн	Соединения второго дна с наклонными листами скуловой цистерны	<a href="#">Приложение 2, табл. 19 — 22</a>
5	Нижняя часть поперечных переборок с нижними опорами	Соединения нижних опор с плоскими переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 23 — 29</a>
		Соединения нижних опор с гофрированными переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 30 — 35</a>
6	Нижняя часть внутреннего борта	Соединения наклонных листов скуловой цистерны с внутренним бортом	<a href="#">Приложение 2, табл. 36 — 42</a>

Таблица 3

## Навалочные суда

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
3	Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 15 — 17</a>
		Соединения второго дна с поперечными переборками или нижними опорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 18</a>

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
4	Двойное дно в районе скуловых цистерн	Соединения второго дна с наклонными листами скуловой цистерны	<a href="#">Приложение 2, табл. 19 — 22</a>
5	Нижняя часть поперечных переборок с нижними опорами	Соединения нижних опор с плоскими переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 23 — 29</a>
		Соединения нижних опор с гофрированными переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 30 — 35</a>
6	Нижняя часть внутреннего борта	Соединения наклонных листов скуловой цистерны с внутренним бортом	<a href="#">Приложение 2, табл. 36 — 42</a>

Таблица 4

**Рудовозы и нефтерудовозы**

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
1	Район борта: вдоль судна между ахтерпиком и таранной переборкой; по вертикали между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора борта с ребрами жесткости поперечных рамных связей	<a href="#">Приложение 2, табл. 1 — 7</a>
3	Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 15 — 17</a>
		Соединения второго дна с поперечными переборками или нижними опорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 18</a>
4	Двойное дно в районе скуловых цистерн	Соединения второго дна с наклонными листами скуловой цистерны	<a href="#">Приложение 2, табл. 19 — 22</a>
5	Нижняя часть поперечных переборок с нижними опорами	Соединения нижних опор с плоскими переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 23 — 29</a>
		Соединения нижних опор с гофрированными переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 30 — 35</a>
6	Нижняя часть внутреннего борта	Соединения наклонных листов скуловой цистерны с внутренним бортом	<a href="#">Приложение 2, табл. 36 — 42</a>

Таблица 5

**Газовозы**

Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
1	Район борта: вдоль судна между ахтерпиком и таранной переборкой; по вертикали между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора борта с ребрами жесткости поперечных рамных связей	<a href="#">Приложение 2, табл. 1 — 7</a>
3	Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами	<a href="#">Приложение 2, табл. 15 — 17</a>
		Соединения второго дна с поперечными коффердачными переборками	<a href="#">Приложение 2, табл. 45</a>
4	Двойное дно в районе скуловых цистерн	Соединения второго дна с наклонными листами скуловой цистерны	<a href="#">Приложение 2, табл. 19 — 22</a>

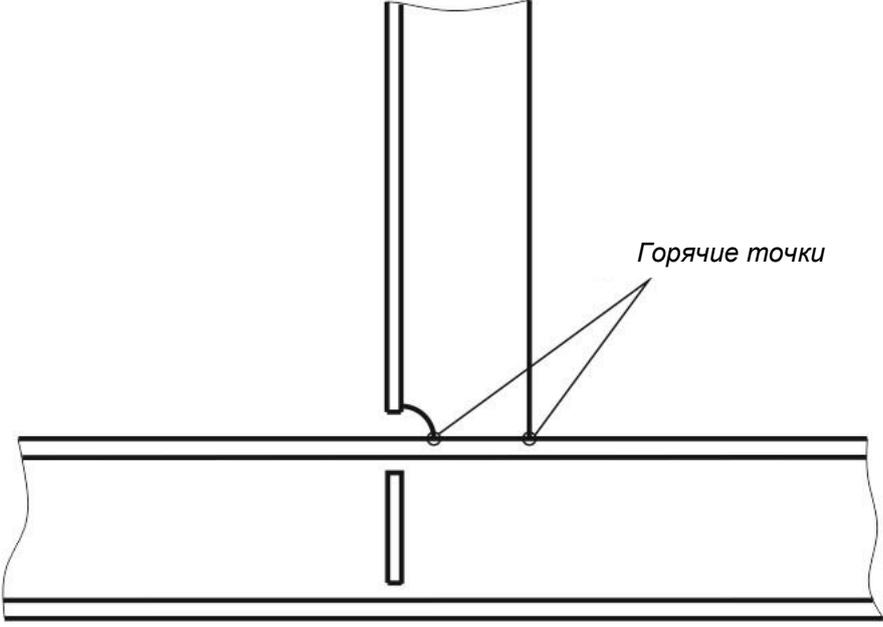
Номер района	Описание района	Описание детали	Ссылка на детали
6	Нижняя часть внутреннего борта	Соединения наклонных листов скуловой цистерны с внутренним бортом	<a href="#">Приложение 2, табл. 43 — 44</a>

В случае, если конструкция газоведа в определенных районах включает потенциально опасные конструктивные узлы, отличные от приведенных в [табл. 5](#), оценка усталостной долговечности таких узлов осуществляется по согласованию с Регистром с учетом их конструктивных особенностей.

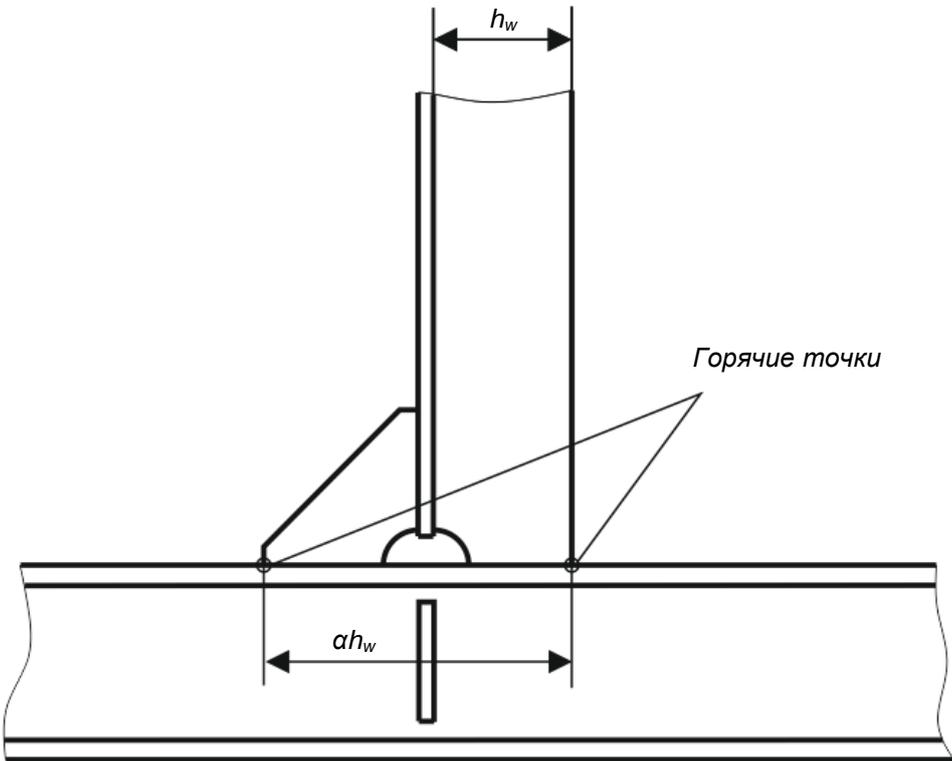
## КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Таблица 1

## Все суда с продольной системой набора борта

Район борта между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей без использования книц
	
Коэффициенты концентрации	
Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
$K_H = 1,30$ $K_L = 1,65$	$K_H = 1,25$ $K_L = 1,50$

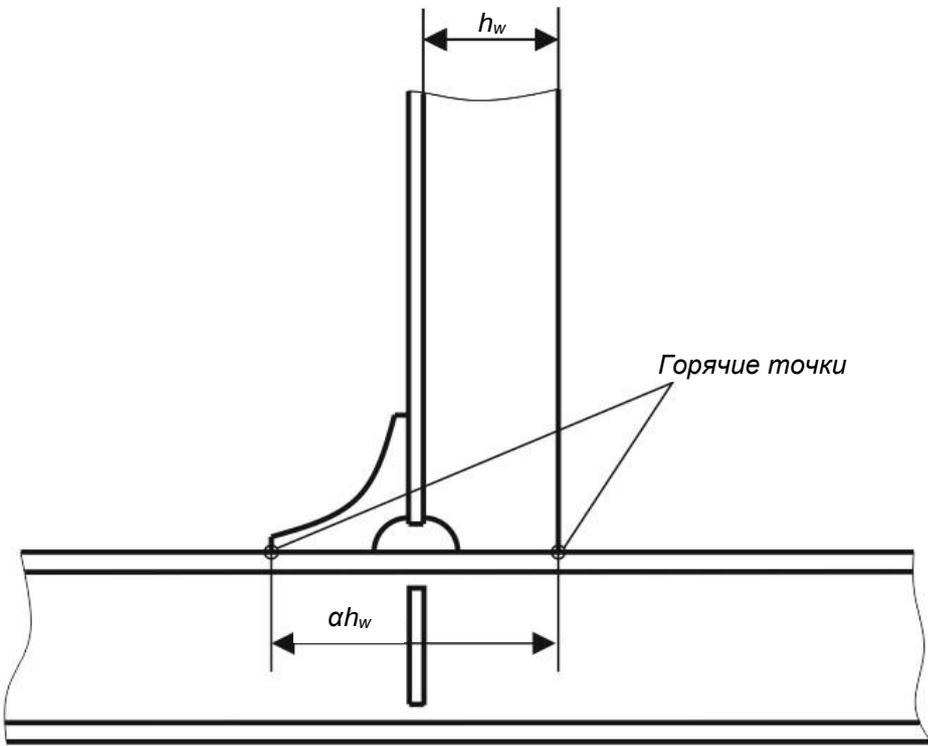
**Все суда с продольной системой набора борта**

Район борта между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием одной кницы
	
Коэффициенты концентрации	
Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,20$ $K_L = 1,40$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,40$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,32$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,10$ $K_L = 1,32$

**Все суда с продольной системой набора борта**

<p>Район борта между <math>0,7d_B</math> и <math>1,15d_F</math></p>	<p>Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием двух книц</p>
<p>Коэффициенты концентрации</p>	
<p>Проницаемый шпигат</p>	<p>Непроницаемый шпигат</p>
<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math> и <math>1 &lt; \beta &lt; 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,15</math>                  При <math>\alpha \geq 2,5</math> и <math>\beta \geq 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,10</math></p>	<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math> и <math>1 &lt; \beta &lt; 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,10</math>                  При <math>\alpha \geq 2,5</math> и <math>\beta \geq 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,05</math></p>

**Все суда с продольной системой набора борта**

Район борта между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием одной скругленной кницы
	
Коэффициенты концентрации	
Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,35$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,10$ $K_L = 1,35$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,13$ $K_L = 1,30$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,08$ $K_L = 1,30$

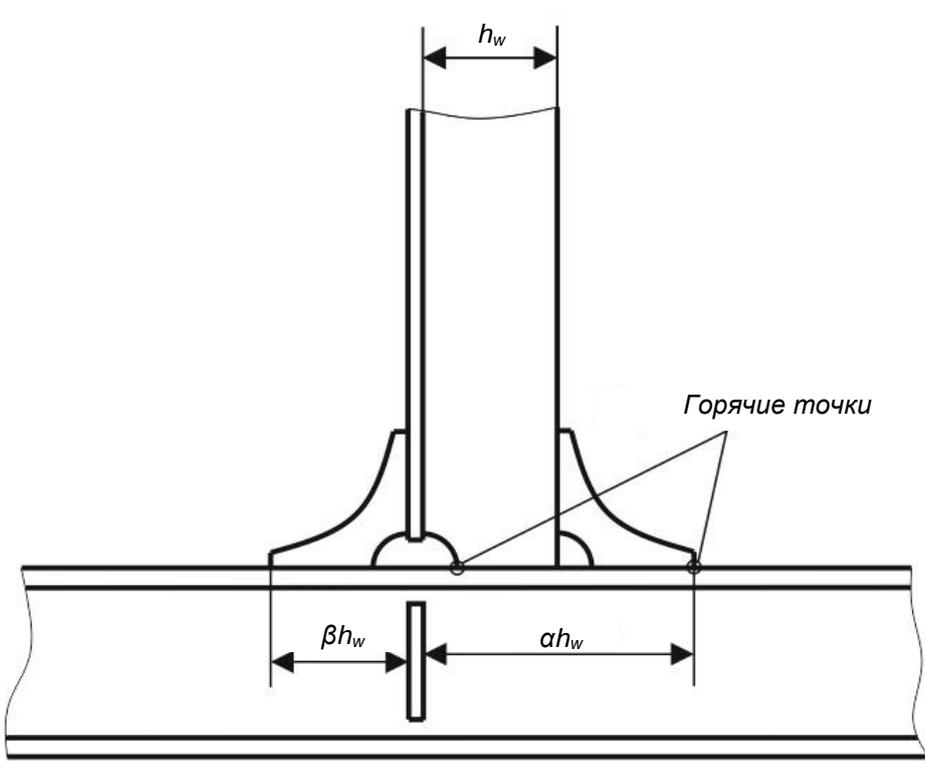
**Все суда с продольной системой набора борта**

Район борта между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием одной кницы
Кoeffициенты концентрации	
Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,30$ $K_L = 1,55$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,25$ $K_L = 1,50$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,25$ $K_L = 1,46$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,20$ $K_L = 1,41$

**Все суда с продольной системой набора борта**

Район борта между $0,7d_B$ и $1,15d_F$	Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием одной скругленной кницы
<p>The diagram illustrates the connection between a longitudinal beam and a transverse frame member. The beam has a height <math>h_w</math> and a fillet radius <math>\alpha h_w</math>. The connection is labeled "Горячие точки" (Hot spots). The drawing shows the beam's profile and the frame member's profile, with the fillet radius clearly indicated.</p>	
Коэффициенты концентрации	
Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,25$ $K_L = 1,50$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,20$ $K_L = 1,45$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,22$ $K_L = 1,44$ При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,18$ $K_L = 1,39$

**Все суда с продольной системой набора борта**

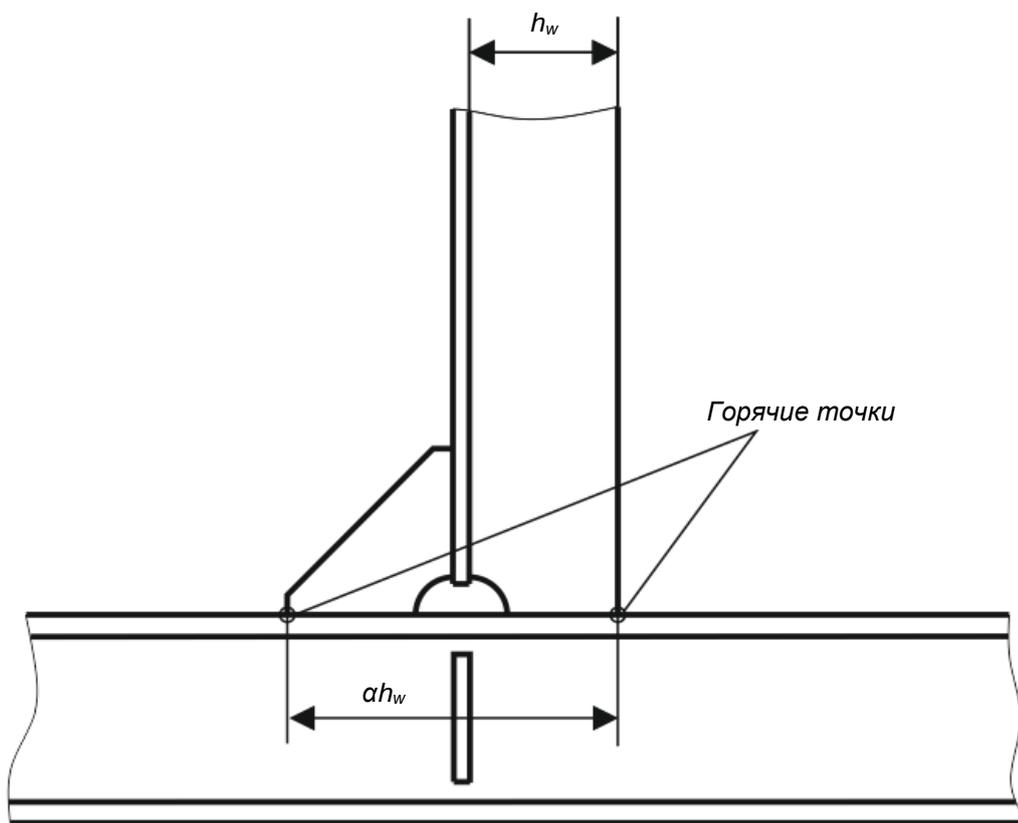
<p>Район борта между <math>0,7d_B</math> и <math>1,15d_F</math></p>	<p>Соединения балок основного набора и ребер жесткости поперечных рамных связей с использованием двух скругленных книц</p>
	
<p>Коэффициенты концентрации</p>	
<p>Проницаемый шпигат</p>	<p>Непроницаемый шпигат</p>
<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math> и <math>1 &lt; \beta &lt; 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,10</math>                  При <math>\alpha \geq 2,5</math> и <math>\beta \geq 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,15</math></p>	<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math> и <math>1 &lt; \beta &lt; 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,10</math>                  При <math>\alpha \geq 2,5</math> и <math>\beta \geq 1,5</math>  <math>K_H = K_L = 1,05</math></p>

**Наливные суда, химовозы**

<p>Внутренний борт и продольные переборки выше <math>0,5H</math></p>	<p>Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей без использования книц</p>
<p>The diagram shows a cross-section of a ship's internal structure. A vertical beam is connected to a horizontal beam. Two points at the connection are marked with circles and labeled 'Горячие точки' (Hot spots). The horizontal beam has a central slot. The vertical beam is shown in two parts: one above the horizontal beam and one below it, connected at the hot spots.</p>	
<p>Коэффициенты концентрации</p>	
<p>Проницаемый шпигат</p>	<p>Непроницаемый шпигат</p>
<p><math>K_H = 1,30</math> <math>K_L = 1,65</math></p>	<p><math>K_H = 1,25</math> <math>K_L = 1,50</math></p>

**Наливные суда, химвозы**

Внутренний борт и продольные переборки выше $0,5H$	Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием одной кницы
--	--

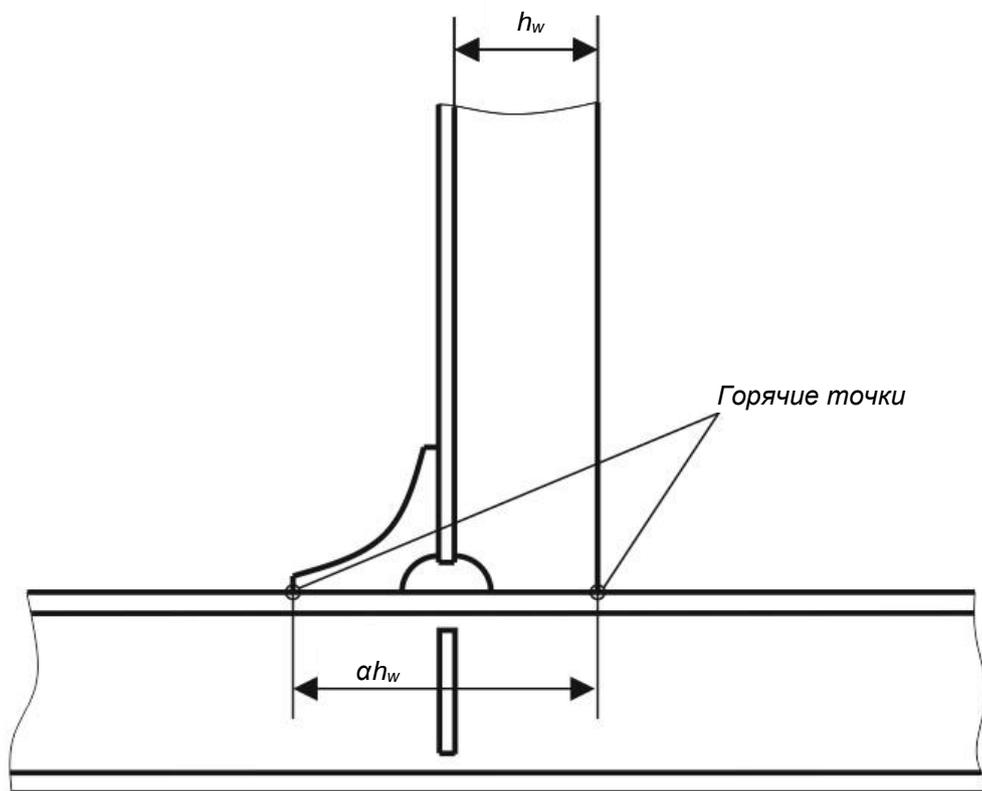


**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,20$ $K_L = 1,40$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,32$
При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,40$	При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,10$ $K_L = 1,32$

**Наливные суда, химовозы**

Внутренний борт и продольные переборки выше 0,5H	Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием одной скругленной кницы
--	--

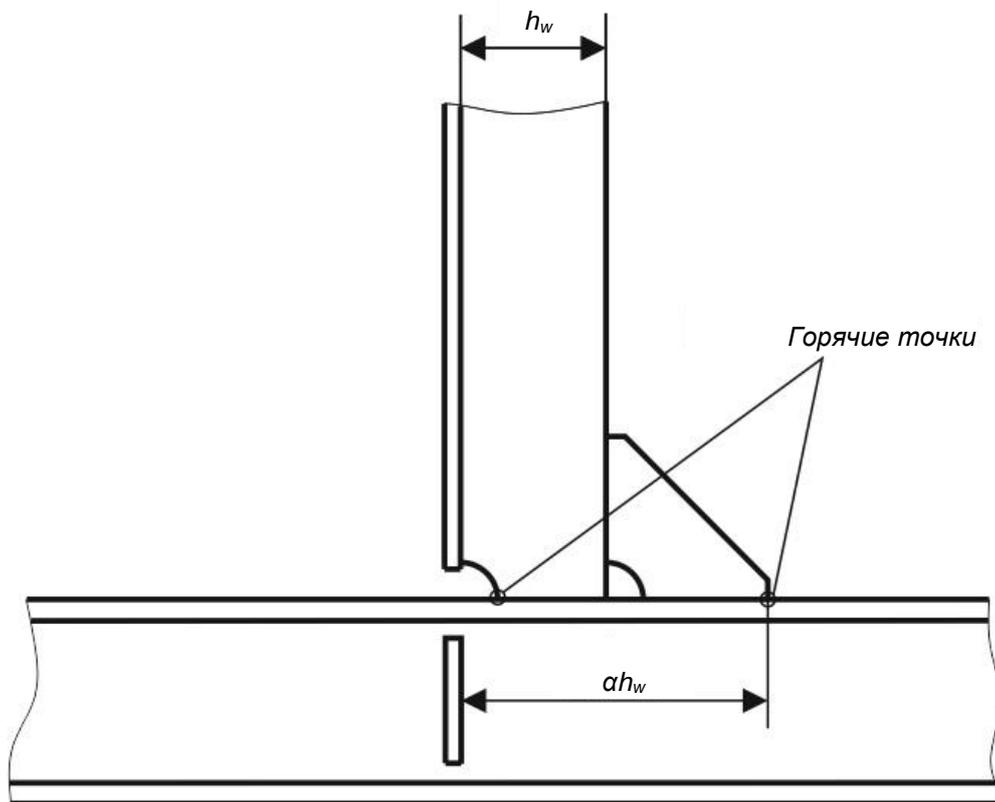


**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,15$ $K_L = 1,35$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,13$ $K_L = 1,30$
При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,10$ $K_L = 1,35$	При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,08$ $K_L = 1,30$

**Наливные суда, химовозы**

<p>Внутренний борт и продольные переборки выше 0,5H</p>	<p>Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием одной кницы</p>
---	---

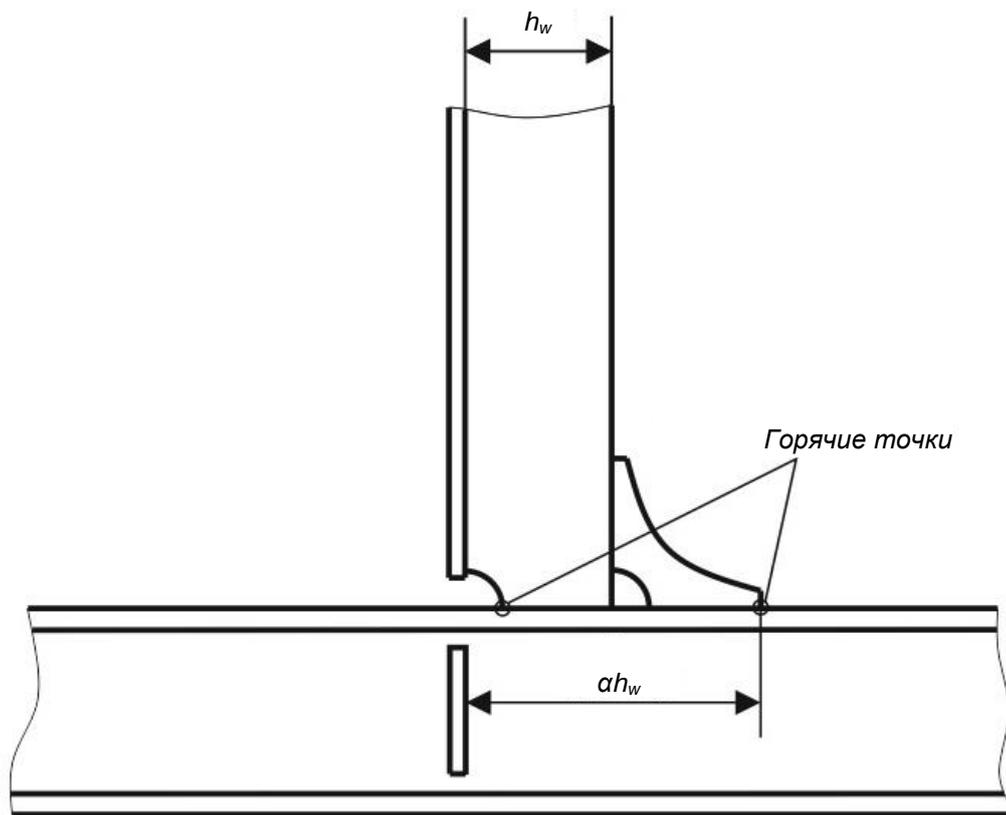


**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math>  <math>K_H = 1,30</math>  <math>K_L = 1,55</math></p>	<p>При <math>2 &lt; \alpha &lt; 2,5</math>  <math>K_H = 1,25</math>  <math>K_L = 1,46</math></p>
<p>При <math>\alpha \geq 2,5</math>  <math>K_H = 1,25</math>  <math>K_L = 1,50</math></p>	<p>При <math>\alpha \geq 2,5</math>  <math>K_H = 1,20</math>  <math>K_L = 1,41</math></p>

**Наливные суда, химовозы**

Внутренний борт и продольные переборки выше $0,5H$	Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием одной скругленной кницы
--	--

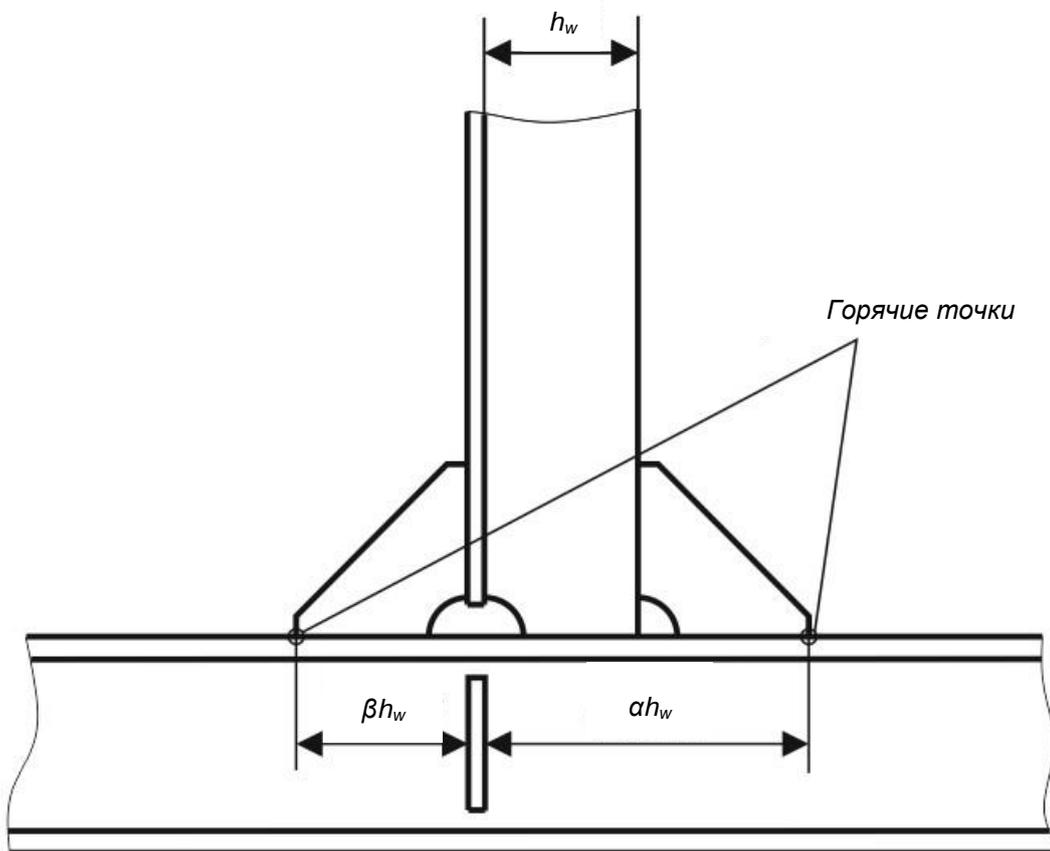


**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,25$ $K_L = 1,50$	При $2 < \alpha < 2,5$ $K_H = 1,22$ $K_L = 1,44$
При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,20$ $K_L = 1,45$	При $\alpha \geq 2,5$ $K_H = 1,18$ $K_L = 1,39$

**Наливные суда, химовозы**

Внутренний борт и продольные переборки выше 0,5H	Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием двух книц
--	--



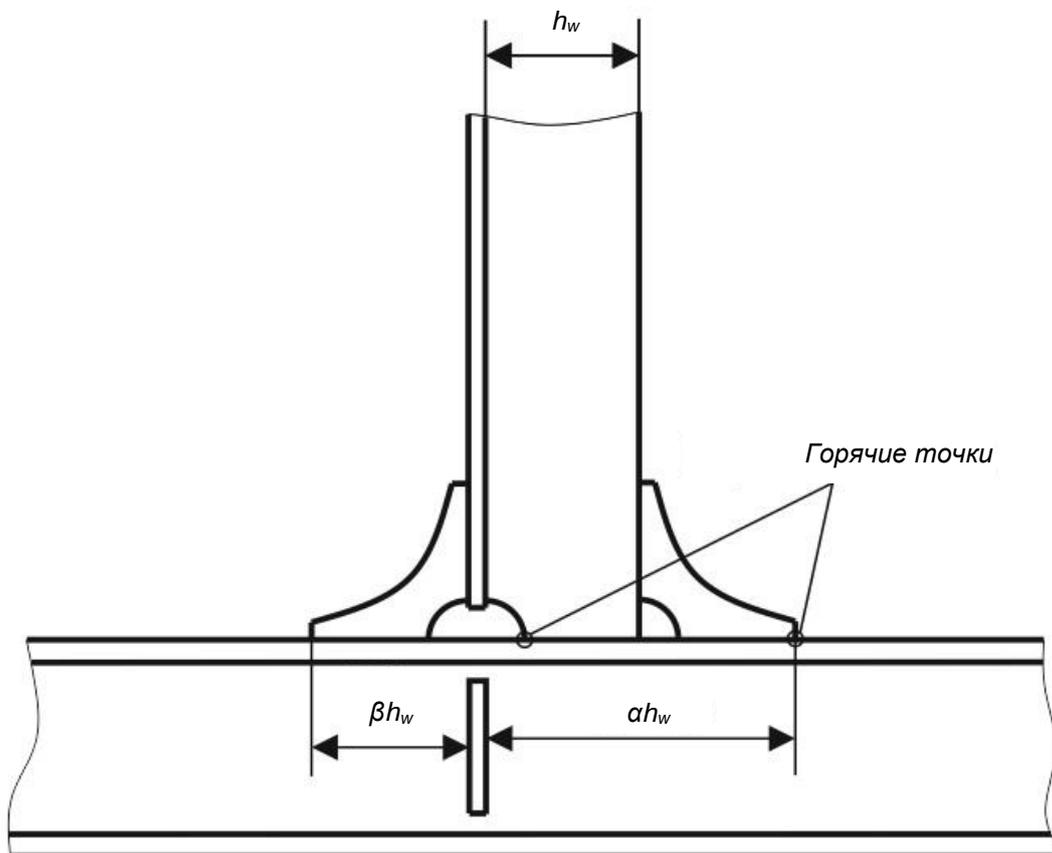
**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ и $1 < \beta < 1,5$ $K_H = K_L = 1,15$	При $2 < \alpha < 2,5$ и $1 < \beta < 1,5$ $K_H = K_L = 1,10$
При $\alpha \geq 2,5$ и $\beta \geq 1,5$ $K_H = K_L = 1,10$	При $\alpha \geq 2,5$ и $\beta \geq 1,5$ $K_H = K_L = 1,05$

**Наливные суда, химовозы**

Внутренний борт и продольные переборки выше 0,5H

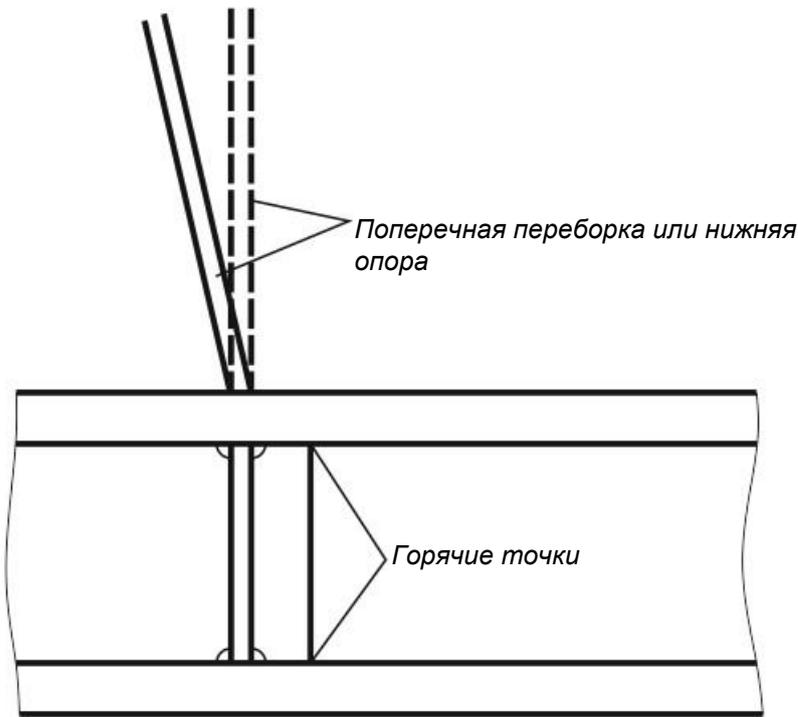
Соединения балок основного набора внутреннего борта или продольной переборки с ребрами жесткости поперечных рамных связей с использованием двух скругленных книц



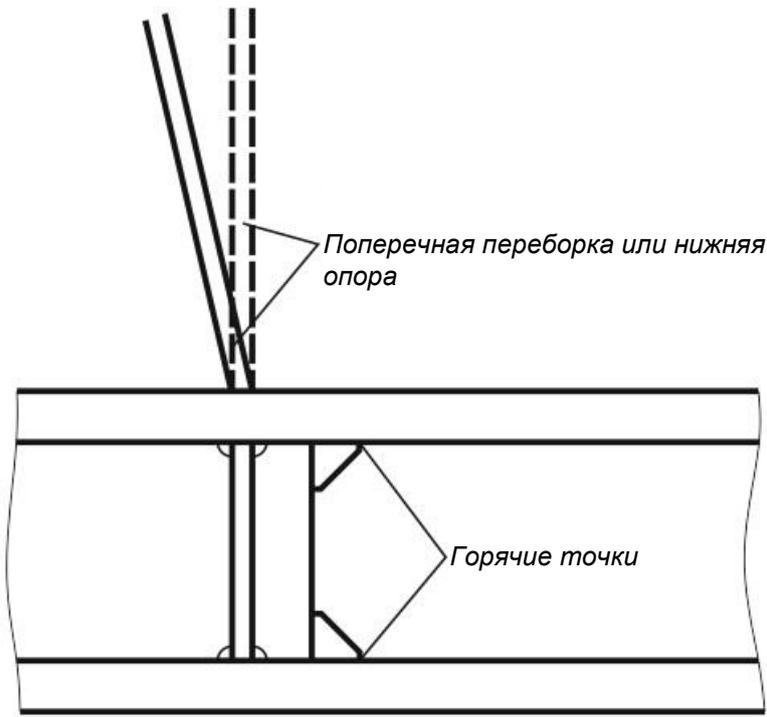
**Коэффициенты концентрации**

Проницаемый шпигат	Непроницаемый шпигат
При $2 < \alpha < 2,5$ и $1 < \beta < 1,5$ $K_H = K_L = 1,10$	При $2 < \alpha < 2,5$ и $1 < \beta < 1,5$ $K_H = K_L = 1,10$
При $\alpha \geq 2,5$ и $\beta \geq 1,5$ $K_H = K_L = 1,05$	При $\alpha \geq 2,5$ и $\beta \geq 1,5$ $K_H = K_L = 1,05$

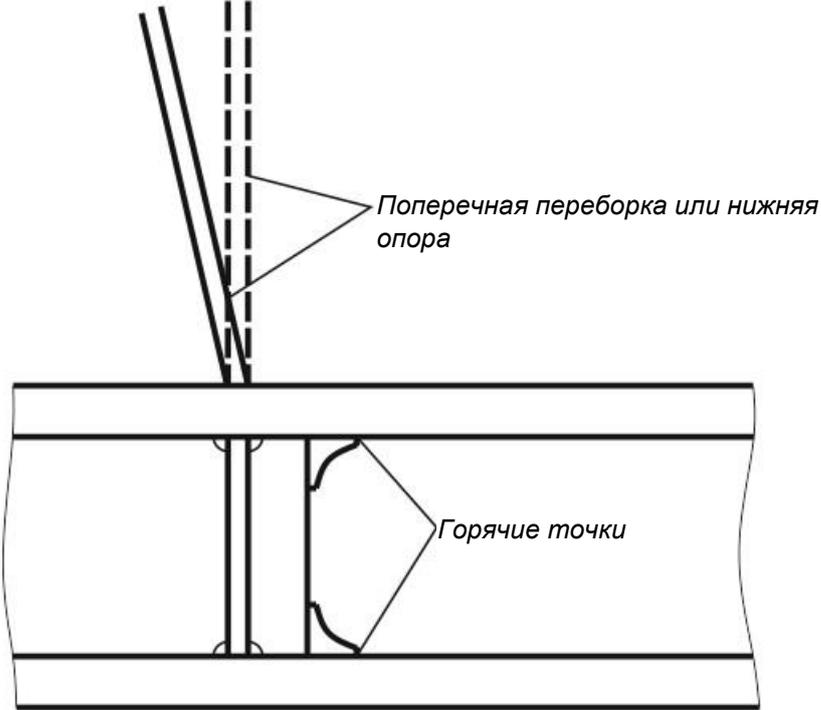
Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами без использования книц
	
Коэффициенты концентрации	
$K_H = 1,30$ $K_L = 1,65$	

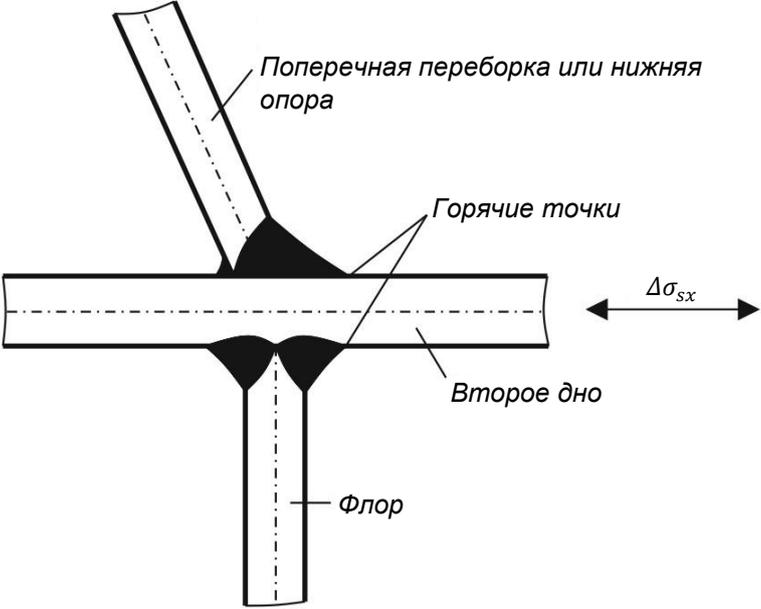
Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами с использованием книц
	
Кoeffициенты концентрации	
$K_H = 1,30$ $K_L = 1,55$	

**Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединения балок основного набора днища и второго дна с флорами с использованием скругленных книц
	
Коэффициенты концентрации	
$K_H = 1,25$ $K_L = 1,50$	

Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединение второго дна с поперечной переборкой или нижней опорой
 <p>The diagram illustrates the connection between a transverse bulkhead or lower support (labeled 'Поперечная переборка или нижняя опора') and the second bottom (labeled 'Второе дно'). The second bottom is supported by a floor (labeled 'Флор'). The diagram highlights the 'Горячие точки' (hot spots) at the junctions where stress concentration occurs. A stress range <math>\Delta\sigma_{sx}</math> is indicated by a double-headed arrow pointing to the right.</p>	
Коэффициент концентрации	
$K_{sx} = 3,85$	

**Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Двойное дно в районе скуловой цистерны	Соединение второго дна с наклонным листом скуловой цистерны
Коэффициенты концентрации	
$K_{SY} = 3,85$ при условии заделки вырезов $K_{SY} = 5,40$ при отсутствии заделки вырезов $K_{SX} = 1,30$ $K_{SYX} = 2,00$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SYX} \cdot \Delta\sigma_{ny}$

**Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

<p>Двойное дно в районе скуловых цистерн</p>	<p>Соединение второго дна с наклонным листом скуловой цистерны с использованием фестонного листа, установленного в плоскости второго дна на пересечении с поперечной рамной связью</p>
<p>Коэффициенты концентрации</p>	
<p> <math>K_{SY} = 2,40</math> при условии заделки вырезов  <math>K_{SY} = 3,40</math> при отсутствии заделки вырезов  <math>K_{SX} = 1,30</math>  <math>K_{SYX} = 1,50</math> </p>	
<p>Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках</p>	
<p>Горячая точка a</p>	<p>Горячая точка b</p>
<p><math>\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny}</math></p>	<p><math>\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SYX} \cdot \Delta\sigma_{ny}</math></p>

Наливные суда, химовозы, газовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

Двойное дно в районе скуловой цистерны	Скругленное соединение второго дна с наклонным листом скуловой цистерны
Кoeffициенты концентрации	
$K_{SY} = 3,15$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SYX} = 2,05$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SYX} \cdot \Delta\sigma_{ny}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Двойное дно в районе скуловой цистерны	Скругленное соединение второго дна с наклонным листом скуловой цистерны
Коэффициенты концентрации	
$K_{SY} = 3,85$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SYX} = 4,50$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SYX} \cdot \Delta\sigma_{ny}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Соединение нижней опоры с плоской переборкой
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,85$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 2,00$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка a	Горячая точка b
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Соединение нижней опоры с плоской переборкой с использованием бракет
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,55$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 1,75$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Соединение нижней опоры с плоской переборкой с применением кницы, установленной с плоскости второго борта
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 2,40$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 1,50$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Скругленное соединение нижней опоры с плоской переборкой
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,30$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 2,25$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы, нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Скругленное соединение нижней опоры с плоской переборкой с использованием brackets
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,15$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 2,05$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Скругленное соединение нижней опоры с плоской переборкой
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 4,50$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYZ} = 5,60$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка a	Горячая точка b
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Скругленное соединение нижней опоры с плоской переборкой с использованием brackets
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,85$ $K_{SY} = 1,30$ $K_{SYX} = 4,50$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SY} = K_{SY} \cdot \Delta\sigma_{ny} + K_{SYX} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой	Соединение нижней опоры с гофрированной переборкой
Коэффициент концентрации	
$K_{SZ} = 2,35$	

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

<p>Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой</p>	<p>Соединение нижней опоры с гофрированной переборкой с использованием шеддерных листов расположенных под углом 45° к горизонтальной плоскости</p>
<p>Коэффициент концентрации</p>	
<p><math>K_{SZ} = 1,35</math></p>	

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

<p>Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой</p>	<p>Соединение нижней опоры с гофрированной переборкой с использованием шеддерных листов расположенных под углом 55° к горизонтальной плоскости</p>
<p>Коэффициент концентрации</p>	
<p><math>K_{SZ} = 1,25</math></p>	

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

<p>Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой</p>	<p>Соединение нижней опоры с наклонным верхним листом и гофрированной переборки с использованием шеддерных листов</p>
<p>Коэффициент концентрации</p>	
<p><math>K_{SZ} = 1,90</math></p>	

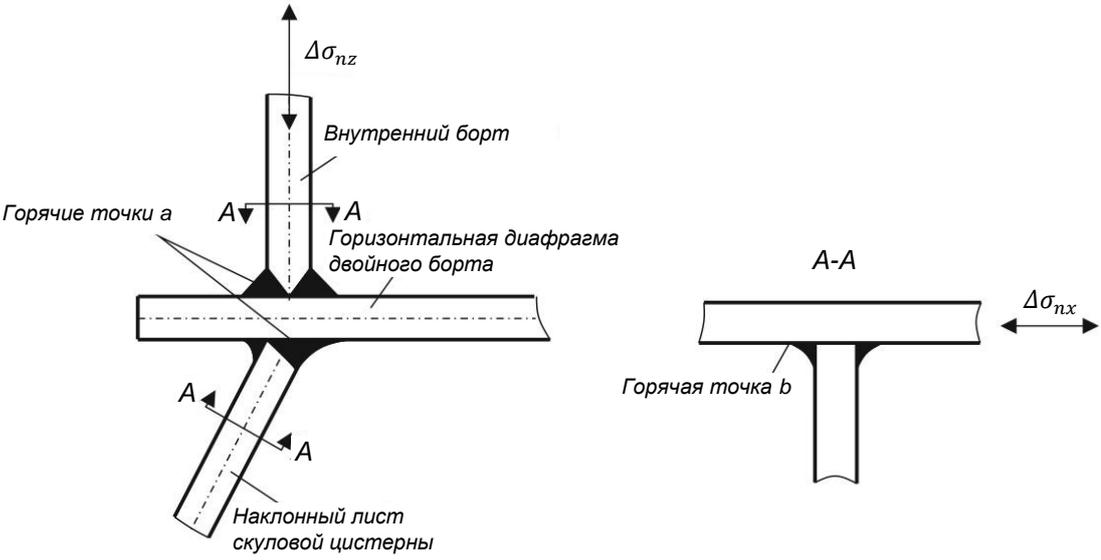
Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

<p>Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой</p>	<p>Соединение нижней опоры с гофрированной переборкой с использованием подкрепляющих бракет, расположенных под верхним листом опоры в плоскости гофра</p>
<p>Коэффициент концентрации</p>	
<p><math>K_{SZ} = 1,95</math></p>	

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

<p>Нижняя часть поперечной переборки с нижней опорой</p>	<p>Соединение нижней опоры с гофрированной переборкой с использованием шеддерных листов и подкрепляющих бракет, расположенных под верхним листом опоры в плоскости гофра</p>
<p>Коэффициент концентрации</p>	
<p><math>K_{SZ} = 1,25</math></p>	

Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы

Нижняя часть внутреннего борта	Соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом
	
Кoeffициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,85$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 2,00$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка a	Горячая точка b
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом с использованием brackets
Кoeffициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,55$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 1,75$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом с применением кницы, установленной в плоскости внутреннего борта
Кoeffициенты концентрации	
$K_{SZ} = 2,40$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 1,50$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Скругленное соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом
<p>Горизонтальная диафрагма двойного борта</p> <p>Горячие точки <i>a</i></p> <p>Внутренний борт</p> <p>Наклонный лист скуловой цистерны</p> <p>Горячая точка <i>b</i></p> <p><math>\Delta\sigma_{nz}</math></p> <p><math>\Delta\sigma_{nx}</math></p> <p>A-A</p> <p>B-B</p>	
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,30$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 2,25$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Скругленное соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом с использованием бракет
<p>Горизонтальная диафрагма двойного борта</p> <p>Внутренний борт</p> <p>Горячие точки a</p> <p>Бракета</p> <p>Наклонный лист скуловой цистерны</p> <p>Горячая точка b</p> <p><math>\Delta\sigma_{nz}</math></p> <p>A-A</p> <p><math>\Delta\sigma_{nx}</math></p>	
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,15$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 2,05$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка a	Горячая точка b
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Скругленное соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом
<p>Горизонтальная диафрагма двойного борта</p> <p>Внутренний борт</p> <p>Горячие точки a</p> <p>Наклонный лист скуловой цистерны</p> <p>Горячая точка b</p> <p><math>\Delta\sigma_{nz}</math></p> <p><math>\Delta\sigma_{nx}</math></p>	
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 4,50$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 5,60$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка a	Горячая точка b
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Наливные суда, химовозы, навалочные суда, рудовозы,  
нефтерудовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Скругленное соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом с использованием бракеты
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,85$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 4,50$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Газовозы**

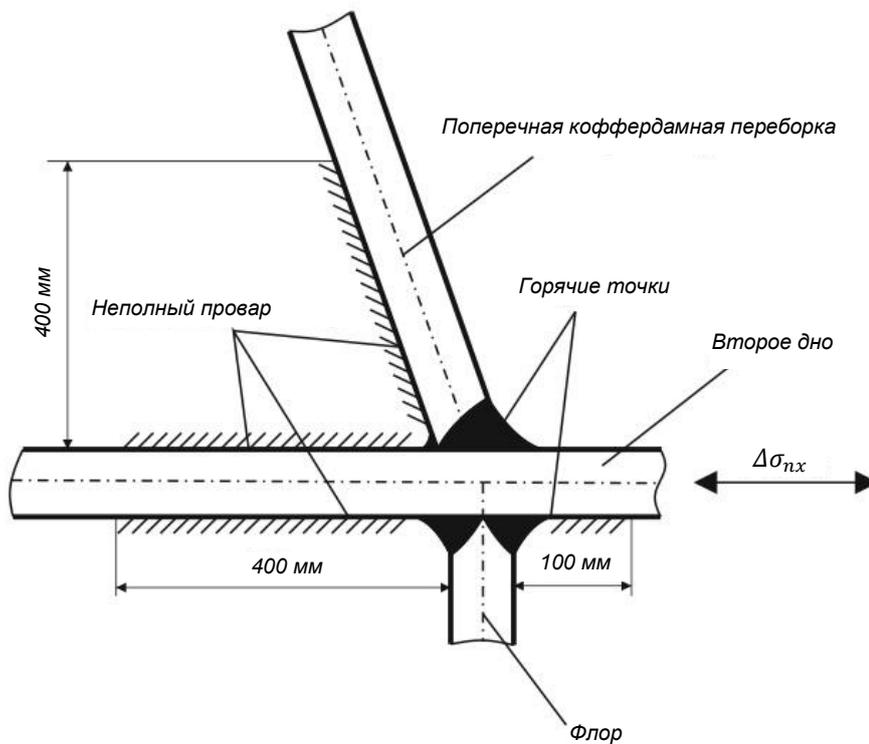
Нижняя часть внутреннего борта	Соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,85$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 2,00$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

**Газовозы**

Нижняя часть внутреннего борта	Соединение наклонного листа скуловой цистерны с внутренним бортом с использованием brackets
Коэффициенты концентрации	
$K_{SZ} = 3,55$ $K_{SX} = 1,30$ $K_{SXZ} = 1,75$	
Формулы для определения размаха напряжений в горячих точках	
Горячая точка <i>a</i>	Горячая точка <i>b</i>
$\Delta\sigma_{SZ} = K_{SZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$	$\Delta\sigma_{SX} = K_{SX} \cdot \Delta\sigma_{nx} + K_{SXZ} \cdot \Delta\sigma_{nz}$

Газовозы

Двойное дно в районе поперечных переборок	Соединение второго дна с поперечной коффердачной переборкой
---	---



Коэффициент концентрации

$$K_{SX} = 3,85$$