

Отменено в связи с потерей актуальности

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга одиннадцатая



Санкт-Петербург
2002

В настоящем Сборнике публикуются две работы, разработанные ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова по заказу Российского морского регистра судоходства в рамках научно-исследовательских работ:

«Нормативно-методические указания по расчетам прочности морских судов» и

«Нормативно-методические указания по определению технического состояния корпусов плавучих полупогружных буровых установок».

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТАМ ПРОЧНОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

Основные условные обозначения	7
1 Общие положения	9
1.1 Назначение и условия применения Нормативно-методических указаний	9
1.2 Виды и классификация расчетных нагрузок	10
2 Общая прочность	11
2.1 Общие нагрузки на тихой воде	11
2.2 Волновые и ударные нагрузки	11
2.3 Влияние ограничения района плавания	19
3 Критерии проверки общей прочности корпуса	20
3.1 Состав критериев	20
3.2 Проверка общей предельной прочности	21
3.3 Проверка общей усталостной прочности	23
3.4 Корпуса судов с широким раскрытием палубы	25
4 Выбор расчетных поперечных сечений корпуса и определение их элементов	27
4.1 Общие требования	27
4.2 Прерывистые связи судового корпуса	27
4.3 Порядок учета запасов на коррозионный износ при определении характеристик общей прочности корпуса	30
4.4 Требования к устойчивости	32
5 Местные нагрузки	38
5.1 Общее	38
5.2 Внешние расчетные давления на наружные конструкции корпуса	38
5.3 Расчетные амплитуды качки и ускорений	42
5.4 Расчетные давления на стенки отсеков, заполненных жидким грузом или балластом	43
5.5 Расчетные давления на конструкции, ограничивающие трюма для навалочного груза	45
5.6 Максимальные давления на водонепроницаемые аварийные переборки	46
5.7 Суммарное нагружение днищевых и бортовых перекрытий с учетом действия волновых давлений и груза	46

6 Основные критерии местной прочности	48
6.1 Состав критериев	48
6.2 Предельная прочность	48
6.3 Усталостная прочность	56
7 Расчет прочности днищевых конструкций носовой оконечности на действие гидродинамических нагрузок от слеминга	69
7.1 Расчетные нагрузки	69
7.2 Проверка прочности днищевой обшивки на действие давлений от слеминга	73
7.3 Балки продольного набора днища	73
7.4 Поперечные балки днищевых перекрытий и перекрытия в целом	74
8 Проверка прочности корпусных конструкций судов в эксплуатации	75
8.1 Предельная прочность	75
8.2 Усталостная прочность	76
8.3 Учет остаточных прогибов элементов корпусных конструкций при расчетах общей и местной прочности	77
9 Проверка прочности при обновлении корпуса	80
9.1 Предельная прочность	80
9.2 Усталостная прочность	81
<i>Приложение 1 Общие требования к расчетам прочности методом конечных элементов (МКЭ)</i>	82
<i>Приложение 2 Параметры нормирования предельной и усталостной прочности конструкций</i>	85
<i>Приложение 3 Определение параметров усталостной прочности по результатам испытаний</i>	92

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ ПЛАВУЧИХ ПОЛУПОГРУЖНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

1 Назначение	97
1.1 Область распространения	97
1.2 Определения и пояснения	98
2 Указания по определению технического состояния корпуса	103
2.1 Общие положения	103
2.2 Конструкции с износами	105
2.3 Конструкции с деформациями	109
2.4 Конструкции с трещинами и разрывами	112

3 Дефектация корпуса	113
3.1 Общие положения	113
3.2 Конструкции с износами	114
3.3 Конструкции с деформациями	119
3.4 Конструкции с трещинами и разрывами	124
4 Нормативы для корпуса с дефектами	128
4.1 Общие положения	128
4.2 Конструкции с износами	128
4.3 Конструкции с деформациями	134
5 Рекомендации по ремонту корпуса	137
5.1 Общие положения	137
5.2 Конструкции с износами	138
5.3 Конструкции с деформациями	139
5.4 Конструкции с трещинами и разрывами	140
<i>Приложение. Рекомендации по составлению отчета</i>	
о замерах остаточных толщин, деформаций и трещин	
в элементах корпуса	140

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТАМ ПРОЧНОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

Нормативно-методические указания по расчетам прочности морских судов разработаны ЦНИИ им. акад. им. А.Н.Крылова (руководитель разработки — Г.В. Бойцов) по заказу Российского морского регистра судоходства и предназначены для углубленного расчетного анализа корпусов морских транспортных судов на основе нормативных критериев предельной и усталостной прочности их конструкций с использованием вычислительной техники. Реализация такой возможности обеспечивается созданным на базе содержания настоящих Нормативно-методических указаний программным комплексом «Руслан». Методические основы настоящих Указаний и порядок их использования в этом программном комплексе описаны в Научно-техническом сборнике Российского морского регистра судоходства № 22, СПб, 1999¹, Трудах ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, вып. 11 (295), СПб, 2001² и в Трудах 2-ой Международной конференции по судостроению — ISC'98, СПб, Россия, 24 — 26 ноября 1998³.

¹ См.: А.В. Александров, Г.В. Бойцов, В.И. Евенко, М.А. Кудрин, В.М. Шапошников «Новые принципы нормирования прочности корпусов судов и их реализация в программном пакете «Руслан»».

² См.: О.С. Анкудинов, С.В. Сочинский, Е.А. Шишенин «Анализ напряженно-деформированного состояния грузовых отсеков транспортных судов в программном комплексе «Руслан»».

³ См.: Е.М. Аполонов, А.Б. Нестеров, В.Е. Сегаль «Критерии и методы оценки предельной прочности балочных конструкций, подверженных совместному действию общих и местных экстремальных нагрузок».

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

L — длина судна, измеряемая в соответствии с определением части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов¹ Российского морского регистра судоходства², м;

B — ширина судна на миделе, м;

B_x — ширина судна в поперечном сечении корпуса с продольной координатой x , м;

$D_{\otimes}$ — высота борта судна на миделе, м;

D_0 — осредненная высота борта судна в оконечностях, определяемая как среднеарифметическая величина этих высот по носовому и кормовому перпендикулярам, м;

Δ — водоизмещение судна, т;

x — отстояние рассматриваемого поперечного сечения корпуса от кормового перпендикуляра, м;

z — отстояние по высоте от основной плоскости судна, м;

$d_{\otimes}$ — осадка судна на миделе для рассматриваемого грузового состояния судна, м;

d_x — осадка судна в поперечном сечении с продольной координатой x , м;

c_b — коэффициент общей полноты судна;

α — коэффициент полноты действующей ватерлинии;

p, q — расчетные давления, кПа;

ρ_r — массовая плотность груза, т/м³;

ρ_v — расчетная плотность морской воды (если не оговорено особо, принимается $\rho_v = 1,025$ т/м³);

v_0 — спецификационная скорость судна на тихой воде, уз;

$Fr = v_m / \sqrt{gL}$ — число Фруда (v_m — скорость судна, м/с);

Fr^B — число Фруда, соответствующее скорости судна на волнении;

Fr^0 — число Фруда, соответствующее спецификационной скорости судна v_0 , м/с;

$g = 9,81$ м/с² — ускорение свободного падения;

ψ — угол килевой качки, рад;

Θ — угол бортовой качки, рад;

T_{ψ} — период килевой качки, с;

T_{Θ} — период бортовой качки, с;

R_{eH} — предел текучести стали по техническим условиям ее поставки, МПа;

$\sigma_T^H = 235/\eta$ — нормативный (расчетный) предел текучести стали, МПа;

$\eta \leq 1$ — коэффициент использования механических свойств стали, определяемый в соответствии с действующими Правилами;

¹ В дальнейшем — Правила.

² В дальнейшем — Регистр.

E — модуль нормальной упругости материала, МПа;
 $M_{\text{в}}$ — вертикальные волновые изгибающие моменты судна, кН·м;
 $M_{\text{г}}$ — горизонтальные изгибающие моменты, кН·м;
 $M_{\text{кр}}$ — скручивающие волновые моменты, кН·м;
 M_d^o — динамические изгибающие моменты от ударов корпуса судна о волны развалами бортов, кН·м;
 $M_d^{\text{д}}$ — динамические изгибающие моменты от ударов корпуса судна о волны днищем, кН·м;
 $M_{\text{тв}}$ — изгибающие моменты судна на тихой воде, кН·м;
 $M_{\text{пр}}$ — расчетный предельный изгибающий момент для корпуса судна, кН·м;
 $L_{\text{п}}^{\text{п(в)}}$ — переменные составляющие перерезывающих сил корпуса судна от волнения на подошве (п) и вершине (в) расчетной волны, кН.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ

1.1.1 Настоящие Нормативно-методические указания¹ предназначены для выполнения расчетов предельной и усталостной прочности корпусов морских судов длиной от 60 до 350 м на стадиях их проектирования, при оценке технического состояния корпусов судов в эксплуатации, а также при обновлении судов.

1.1.2 Применение НМУ рекомендуется для проектируемых корпусов судов или их отдельных конструкций, для которых Правилами Регистра не предусмотрены соответствующие требования.

1.1.3 Применение НМУ для корпусов судов и конструкций, на которые распространяются требования Правил Регистра, позволяет обеспечить повышение эксплуатационной надежности корпусных конструкций и безопасности судов за счет использования обоснованных расчетами оптимальных конструктивных решений при проектировании, а также выявление возможностей снижения объемов ремонтного восстановления изнашивающихся конструкций корпусов эксплуатирующихся и реклассифицируемых судов.

1.1.4 Техническое содержание настоящих НМУ может быть использовано для выявления направлений совершенствования требований Правил Регистра к размерам конструкционных связей, а также при решении отдельных проблемных вопросов прочности проектируемых и эксплуатирующихся судов.

1.1.5 Приводимые в НМУ допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности справедливы при условии, что материал корпуса и основные конструктивные решения, в том числе и оцениваемые предусматриваемыми НМУ расчетами, удовлетворяют требованиям Правил Регистра, а принятые для постройки корпуса технологические процессы обеспечивают необходимое качество изготовления конструкций.

1.1.6 При применении расчетных нагрузок и/или схем расчета, отличающихся от предусмотренных в НМУ, методика расчета и нормативы прочности подлежат специальному согласованию с Регистром. Расчеты прочности, выполняемые методом конечных элементов², должны отвечать требованиям НМУ (см. приложение 1).

¹В дальнейшем — НМУ.

²В дальнейшем — МКЭ.

1.1.7 При выполнении проектных расчетов предусматривается учет коррозионного износа на толщины связей корпуса, а также учет фактических размеров связей по данным обследований технического состояния корпусных конструкций при расчетах их прочности на стадиях эксплуатации судов и при обновлении (см. 4.3, 6.2.2, а также разд. 8 и 9).

1.2. ВИДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

1.2.1 В качестве расчетных принимаются следующие виды нагрузок: от непосредственного воздействия воды и ее волнения; от воздействия груза (массы груза, сил инерции от качки, давления жидкого и навалочного груза).

1.2.2 Нагрузки классифицируются по следующим признакам:

по продолжительности действия:

д л и т е л ь н а я — время действия нагрузки соизмеримо с временем одного рейса;

к р а т к о в р е м е н н а я — время действия нагрузки намного меньше времени одного рейса;

по изменению во времени:

п о с т о я н н а я — величина и направление действия нагрузки не изменяются или мало изменяются во времени;

п е р е м е н н а я — величина и направление действия нагрузки изменяются во времени;

по воздействию на конструкцию:

с т а т и ч е с к а я — время изменения нагрузки существенно (в 3 раза и более) превышает период первого тона свободных упругих колебаний конструкции;

д и н а м и ч е с к а я — время изменения нагрузки соизмеримо или меньше периода первого тона свободных упругих колебаний конструкции.

1.2.3 Постоянные нагрузки от воздействия водной среды и жидких грузов при отсутствии волнения и качки судна, а также их постоянные (либо мало изменяющиеся во времени) составляющие при наличии волнения и качки называются *г и д р о с т а т и ч е с к и м и*. Аналогичные составляющие нагрузок, являющиеся результатами волнения и качки судна, называются *в о л н о в ы м и* нагрузками. Составляющие нагрузок, обусловленные ускорениями при перемещении грузов или тяжелых механизмов совместно с корпусом судна при качке или изменении параметров его движения, называются *и н е р ц и о н н ы м и*.

Нагрузки, возникающие при ударном взаимодействии конструкций корпуса с водой, имеющие импульсный характер и период действия,

близкий или меньший периода собственных колебаний конструкции, называются г и д р о д и н а м и ч е с к и м и .

1.2.4 Переменные волновые нагрузки представлены в виде максимальных (экстремальных) нагрузок с долговременной вероятностью (обеспеченностью) $P=10^{-8}$ и эксплуатационных нагрузок с вероятностью $P=10^{-3}$.

Первые из них соответствуют практически небольшим нагрузкам за время эксплуатации судна, определяющим требования к предельной прочности конструкций, вторые — соответствуют осредненному за время эксплуатации судна уровню нагрузок, на основе которых устанавливаются требования к усталостной прочности конструкций в условиях их многократного нагружения.

2. ОБЩАЯ ПРОЧНОСТЬ

2.1. ОБЩИЕ НАГРУЗКИ НА ТИХОЙ ВОДЕ

Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде определяются в соответствии с требованиями части II «Корпус» Правил.

2.2. ВОЛНОВЫЕ И УДАРНЫЕ НАГРУЗКИ

2.2.1 В настоящем разделе приводятся основные формулы для определения обусловленных волнением переменных изгибающих моментов, перерезывающих сил и крутящих моментов, используемых при расчетах общей прочности корпуса судна.

2.2.2 В расчетах общей прочности применяются наибольшие амплитудные значения переменных нагрузок долговременной вероятности (обеспеченности) $P=10^{-8}$ и размахи (удвоенные амплитуды) этих нагрузок обеспеченности $P=10^{-3}$.

2.2.3 Вертикальные волновые изгибающие моменты.

Расчет вертикальных волновых изгибающих моментов производится в соответствии с зависимостью

$$M_{bi} = h_i k_i k_{Fi} \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 B L^2 \varphi_{\text{XM}}, \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.2.3-1)$$

где h_i — высоты расчетных волн, графики и аналитические зависимости которых для судов неограниченного района плавания приведены на рис. 2.2.3-1. При этом здесь и в дальнейшем $i=1$ соответствует нагрузкам с обеспеченностью $P=10^{-8}$, а $i=2$ — с обеспеченностью $P=10^{-3}$.

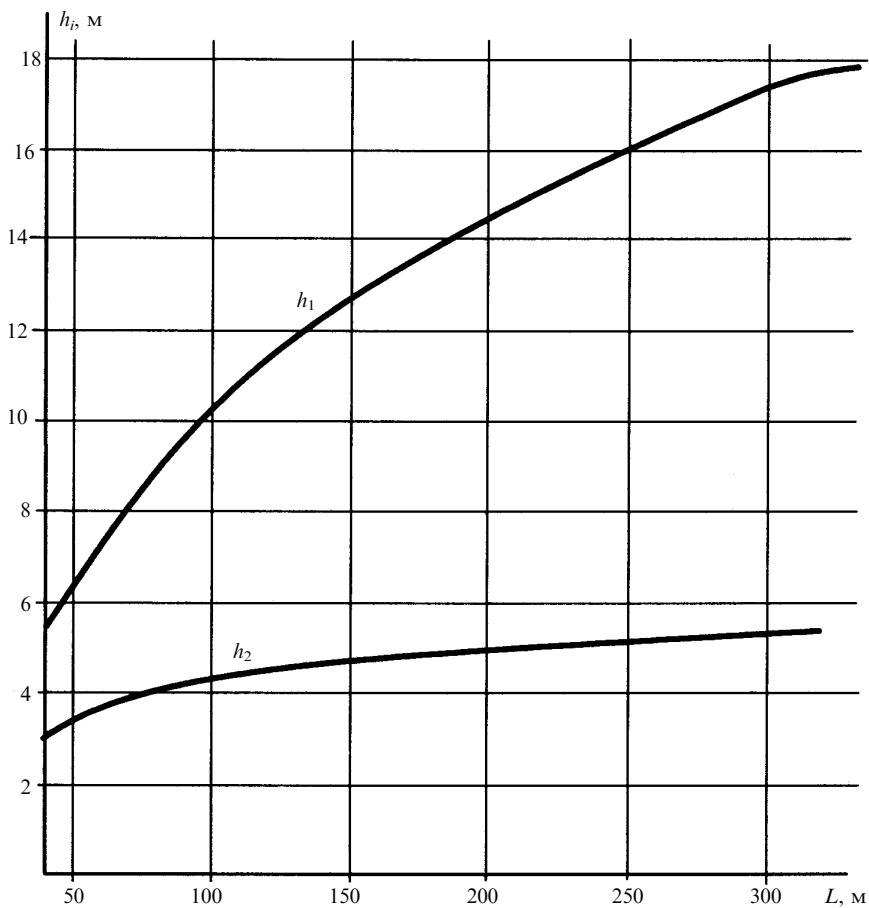


Рис. 2.2.3-1
Значения h_i :

$$h_1 = 18 - 2 \left(\frac{350 - L}{100} \right)^{1.5}, \text{ м, при } 90 < L \leq 350 \text{ м;}$$

в интервале $40 \leq L \leq 90$ м $h_1 = 0,412L^{0.7}$, м;

$$h_2 = 5,5 - 0,5 \left(\frac{275 - L}{100} \right)^{1.5}, \text{ м, при } 90 < L \leq 275 \text{ м;}$$

$h_2 = 5,5$ м при $L > 275$ м;

в интервале $40 \leq L \leq 90$ м $h_2 = 0,7L^{0.4}$, м

В случаях, когда высота расчетной волны h_1 , м, превышает высоту борта судна на миделе $D_{\otimes}$ при перегибе судна и осредненную высоту борта в оконечностях D_0 при прогибе судна, величина h_1 в выражении (2.2.3-1) умножается на редуцированный коэффициент

$$k'_D = \sqrt{0,5(1 + D_{\otimes}/h_1)} \text{ в первом случае} \quad (2.2.3-2a)$$

$$\text{и } k''_D = \sqrt{0,5(1 + D_0/h_1)} \text{ — во втором.} \quad (2.2.3-2b)$$

При $h_1 \leq D_{\otimes}$ в первом случае и $h_1 \leq D_0$ — во втором k'_D и k''_D равны единице.

Значения коэффициента k_i при $i=1$ определяются по следующим зависимостям:

при перегибе судна

$$k_1 = \frac{(c_b/\alpha)^{1,6}}{1 + (c_b/\alpha)^{1,6}}; \quad (2.2.3-3)$$

при прогибе судна

$$k_1 = \frac{1}{1 + (c_b/\alpha)^{1,6}}. \quad (2.2.3-4)$$

При этом принимается $(c_b/\alpha) \geq 0,7$.

В случае $i=2$, $k_2=1$:

$$k_{Fi} = (1 - 5\overline{M}_{\text{ТВ}i})[1 + 1,4(Fr^B - \Delta Fr)], \quad Fr^B \geq \Delta Fr, \quad (2.2.3-5)$$

$$\Delta Fr = 0,05 + 1,5\overline{M}_{\text{ТВ}i},$$

$$\overline{M}_{\text{ТВ}i} = \frac{M_{\text{ТВ}i}}{10\Delta L}; \quad |\overline{M}_{\text{ТВ}i}| \leq 0,02,$$

где $M_{\text{ТВ}i}$ — расчетные значения изгибающих моментов на тихой воде, осредненные в средних районах длины судна на интервалах протяженностью $0,2L$. Порядок их определения применительно к каждому из критериев общей прочности конкретизируется в гл. 3.2 и 3.3;

$$\varphi_1 = 0,22\alpha^{1,7}/c_b^{0,3}; \quad (2.2.3-6)$$

$$\varphi_2 = (L/7B)^{0,17(L/100)^{0,5}}, \quad (2.2.3-7)$$

где $L/B \leq 10$. При больших значениях L/B принимается $L/B = 10$;

$$\varphi_3 = (L/17d_{\otimes})^{0,2+5\overline{M}_{\text{тв}i}} \text{ при } d_{\otimes} \geq 0,035L. \tag{2.2.3-8}$$

При меньших значениях $d_{\otimes}$ принимается $d_{\otimes} = 0,035L$;
 $\varphi_{\text{хм}}$ — коэффициент, учитывающий изменение волнового изгибающего момента по длине судна (см. рис. 2.2.3-2);
 $\overline{x} = x/L$ — относительное отстояние от кормового перпендикуляра.

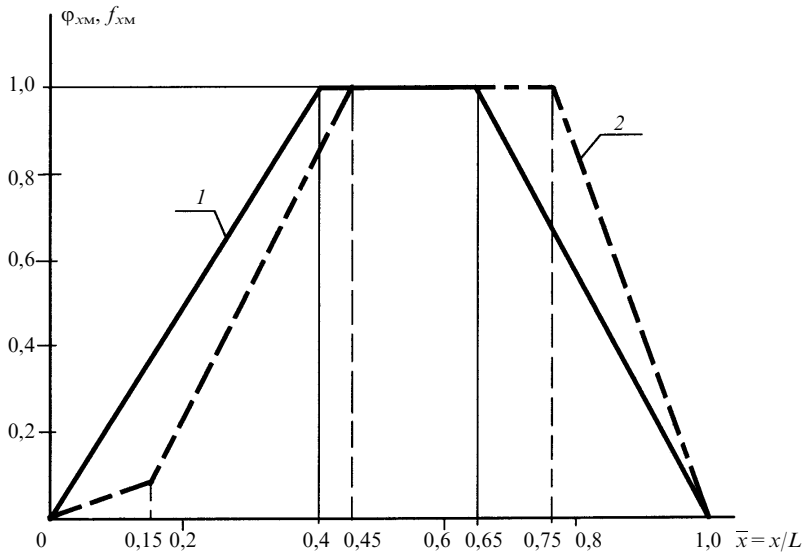


Рис. 2.2.3-2
Значения $\varphi_{\text{хм}}(1)$ и $f_{\text{хм}}(2)$:

Значения $\overline{x}$	$\varphi_{\text{хм}}$	Значения $\overline{x}$	$f_{\text{хм}}$
$\overline{x} \leq 0,4$	$2,5\overline{x}$	$\overline{x} \leq 0,15$	$2\overline{x}/3$
$0,4 \leq \overline{x} \leq 0,65$	1,0	$0,15 \leq \overline{x} \leq 0,45$	$0,1 + 3(\overline{x} - 0,15)$
$\overline{x} > 0,4$	$(1 - \overline{x})/0,35$	$0,45 \leq \overline{x} \leq 0,75$	1,0
		$\overline{x} \geq 0,4$	$1 - 4(\overline{x} - 0,75)$

Величина $F_{\text{р}}^{\text{в}}$ в приведенных выше зависимостях должна соответствовать реально возможной максимальной скорости судна на встречном волнении с интенсивностью 9 баллов при $i=1$ (высота волны 3%-ной обеспеченности $h_{3\%} \sim 12 — 15$ м) и средней эксплуатационной скорости судна также на встречном волнении с интенсивностью 7 баллов ($h_{3\%} \sim 7 — 8,5$ м) при $i=2$.

При отсутствии соответствующих данных можно полагать:

$$\text{при } i = 1 \quad Fr_1^B = 0,16Fr^0[1 + (L/100)^{2/3}] \geq 0,3Fr^0 \quad (2.2.3-9)$$

$$\text{и} \quad Fr_2^B = 0,25Fr^0[1 + (L/100)^{2/3}] \text{ при } i = 2. \quad (2.2.3-10)$$

Для судов ограниченного района плавания, а также судов неограниченного района плавания при $L/D \geq 16$ или длине $L \geq 200$ м волновые моменты M_{B2} дополнительно умножаются на параметр $\mu = v\Phi \geq 1$ (см. гл. 2.3), учитывающий влияние повышенной гибкости корпуса, которая способствует возникновению на волнении напряжений волновой вибрации корпуса.

2.2.4 Горизонтальные изгибающие моменты.

Расчет горизонтальных волновых изгибающих моментов выполняется с помощью зависимости

$$M_{Gi} = h_{Gi} k_{Gi} B L^2 \varphi_{xT}, \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.2.4-1)$$

$$\text{где } h_{Gi} = 0,5(1 + 0,15L/100)h_i; \quad (2.2.4-2)$$

$$k_{Gi} = 0,45ic_b(1 - 4d_{\otimes}/L)d_{\otimes}/B, \text{ } i = 1 \text{ и } 2 \quad (2.2.4-3)$$

при $h_i = h_1$ и h_2 , соответственно (см. рис. 2.2.1);

$$\varphi_{xT} = \sin^2(\pi x/L). \quad (2.2.4-4)$$

2.2.5 Скручивающие моменты.

Расчет скручивающих волновых моментов производится по формуле

$$M_{kpi} = (M_{kp})_{vi} \pm (M_{kp})_{Gi}, \quad (2.2.5-1)^1$$

где $(M_{kp})_{vi}$ — составляющая скручивающего момента, обусловленная вертикальными давлениями, действующими на днище корпуса судна;

$(M_{kp})_{Gi}$ — составляющая этого момента, вызванная горизонтальными волновыми давлениями, действующими на борта корпуса;

$$(M_{kp})_{vi} = h_{Gi} k_{kv} B^2 L \varphi_{xkv}, \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.2.5-2)$$

$$k_{kv} = 0,5(1 - 8d_{\otimes}/L)(1 - 4\alpha B/L)[1 + 3,0(\alpha - 0,7)]i, \text{ } i = 1 \text{ и } 2 \text{ (см. 2.2.3);} \quad (2.2.5-3)$$

$$\varphi_{xkv} = \varphi_{xT} \text{ — см. (2.2.4-4);}$$

¹ Знак "+" или "-" принимается из условия максимума расчетных напряжений в рассматриваемой связи корпуса.

$$(M_{кр})_{Gi} = h_{г} k_{кр} \frac{e}{B} B^2 L \varphi_{хкг}, \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.2.5-4)$$

$$k_{кр} = 10d_{\otimes} / L(1 - 4d_{\otimes} / L)i;$$

e — вертикальное отстояние центра кручения корпуса от уровня $0,6d_{\otimes}$, равное

$$e = 0,6d_{\otimes} + \Delta_e, \text{ м}; \quad (2.2.5-5)$$

Δ_e — отстояние центра кручения от основной (см. рис. 2.2.5);

$$\varphi_{хкг} = \sin(2\pi x / L). \quad (2.2.5-6)$$

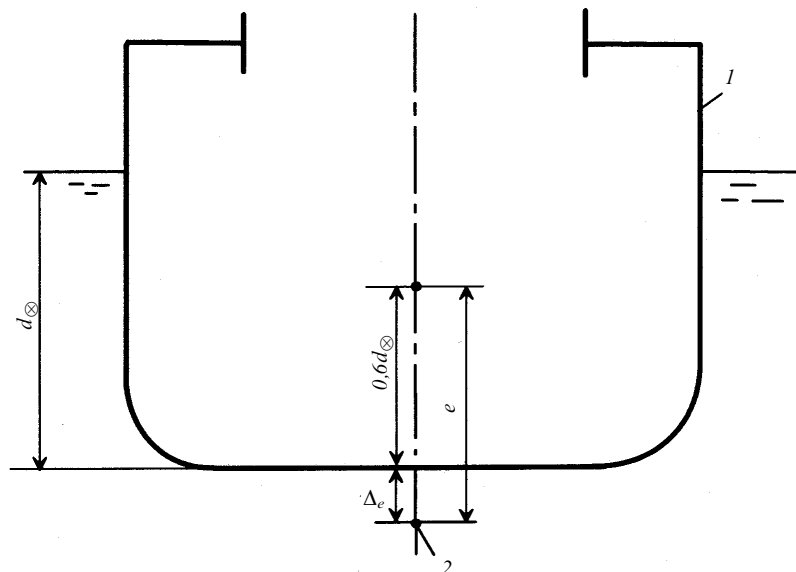


Рис. 2.2.5

Определение величины e :

1 — контур сечения корпуса судна открытого типа;
2 — центр кручения

2.2.6 Динамические изгибающие моменты.

Определение расчетных величин динамических изгибающих моментов применительно к ударам корпуса судна о волны днищем (M_d^A) и развалами бортов (M_d^B) носовой оконечности при прогибе корпуса на подошве волны производится по формулам, приведенным в настоящем пункте.

$$M_d^A = \frac{0,70}{\sqrt{c_b \bar{\rho}_m}} \cdot \frac{h_p}{L} \left(\frac{h_p}{L} - \frac{2d_2}{a_2 L} \right) \bar{b}_2^{4/3} \cdot a_2^2 (1 + 10Fr^B) \frac{L}{10d_{\otimes}} B^2 L^2 \varphi_{хкм} \geq 0, \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.2.6-1)$$

Здесь h_p — расчетная высота волны, м, равная:

$$h_p = (0,40 + 0,12L/100)h_1 \geq 0,5h_1; \quad (2.2.6-2)$$

h_1 — см. 2.2.3;

$\bar{\rho}_m$ — относительная (по отношению к длине судна) величина радиуса инерции продольного распределения масс судна;

d_2 — осадка носовой оконечности, определяемая по 2-му теоретическому шпангоуту;

$\bar{b}_2 = b_2/B$ — относительная ширина 2-го теоретического шпангоута на расстоянии $0,05B$ от основной;

$$a_2 = \frac{1,6 + 7,0Fr^B}{1 + 6|c_b - 0,65|^{1,5}} (0,75 + 8d_{\otimes}/L) \frac{L}{6,5B} (0,3 + 3\bar{\rho}_m), \quad (2.2.6-3)$$

где $d_{\otimes}/L \geq 0,03$; $L/B \leq 6,5$; $0,60 \leq c_b \leq 0,80$.

При выходе параметров за указанные пределы в расчете принимаются их ближайшие крайние значения.

Функция $\varphi_{\text{хм}}$ учитывает изменение изгибающего момента по длине судна (см. рис. 2.2.3-2)

$$M_d^6 = 0,12k_{\Delta}\bar{\theta}_*^2\bar{b}_*k_{\mu}(1 + 5Fr^B)\left(\frac{5h_p a_*}{L}\right)^2 BL^3 f_{\text{хм}}, \quad \text{кН}\cdot\text{м}, \quad (2.2.6-4)$$

где $k_{\Delta} = 1 + 1,5\Delta_L/L$, Δ_L — длина надводной части носовой оконечности, м, выступающая за пределы нулевого теоретического шпангоута (см. рис. 2.2.6);

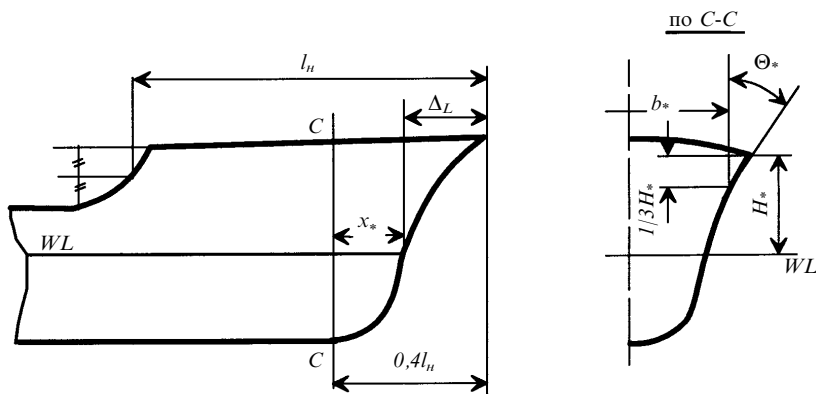


Рис. 2.2.6

Расчетные параметры носовой оконечности при расчетах величины M_d^6

$\bar{\theta}_* = 2\Theta_*/\pi$, Θ_* — угол наклона к вертикали характерного шпангоута носовой оконечности, рад, определяемый в соответствии с рис. 2.2.6;

$\bar{b}_* = b_*/B$ — относительная ширина этого шпангоута, определяемая в соответствии с рис. 2.2.6.

Величина l_n на схеме рис. 2.2.6 принимается равной фактической, но не более $1/3L$.

k_μ — коэффициент изгибающего момента, равный

$$k_\mu = \bar{l}_n^{0,5} (1,85 - 3,8 \bar{\rho}_m); \quad \bar{l}_n = l_n / L; \quad (2.2.6-5)$$

$\bar{\rho}_m$ — см. 2.2.6-1;

h_p — высота расчетной волны согласно (2.2.6-2);

$$a_* = a_2 a_*(\bar{x}_*), \quad (2.2.6-6)$$

где a_2 — находится согласно (2.2.6-3).

$$\bar{a}_*(\bar{x}_*) = 1 - k_x(\bar{x}_* - 0,1); \quad (2.2.6-7)$$

$k_x = 4$ при $\bar{x}_* \leq 0,1$; $k_x = 2,8$ при $\bar{x}_* \geq 0,1$;

$\bar{x}_* = x_*/L$; x_* — см. рис. 2.2.6;

H^* — высота надводного борта по характерному шпангоуту носовой оконечности, определяемому в соответствии с указанным на рис. 2.2.6;

f_{xm} — функция, характеризующая распределение изгибающего момента по длине судна (см. рис. 2.2.3-2).

При расчетных высотах волн h_p согласно (2.2.6-2), превышающих величину

$$h_p^* = 2,5 H^* / a_*, \quad (2.2.6-8)$$

значения динамических изгибающих моментов M_d^6 (2.2.6-4) определяются в соответствии со следующей зависимостью:

$$M_d^6 = \frac{h_p}{h_p^*} M_d^6(h_p^*), \quad (2.2.6-9)$$

где $M_d^6(h_p^*)$ — значения этих моментов согласно зависимости (2.2.6-4) при $h_p = h_p^*$.

2.2.7 Расчетные величины перерезывающих сил от переменных составляющих нагрузок.

Эти силы определяются согласно следующим зависимостям:
на подошве волны

$$N_n^u = \frac{3,5}{L} \{[(M_{в1})_1 + 0,7 M_d^u]\} \varphi_x + 1,2 M_d^u f_x\}, \text{ кН}, \quad (2.2.7-1)^1$$

на вершине волны

$$N_n^в = -\frac{3,5}{L} \{[(M_{в1})_2 + 0,3(M_d^u + M_d^в)]\} \varphi_x, \text{ кН}, \quad (2.2.7-2)$$

где φ_x и f_x — функции, учитывающие изменение соответствующих составляющих перерезывающей силы по длине корпуса (см. рис. 2.2.7-1 и 2.2.7-2);

$(M_{в1})_1$ и $(M_{в1})_2$ — волновые изгибающие моменты согласно (2.2.3-1) для миделевого сечения корпуса при прогибе и перегибе судна, соответственно, и при $h_i = h_1$ (см. 2.2.3).

¹ Все компоненты моментов в выражении (2.2.7-1), так же, как и в (2.2.7-2), берутся по абсолютной величине, т.е. без учета правила знаков.

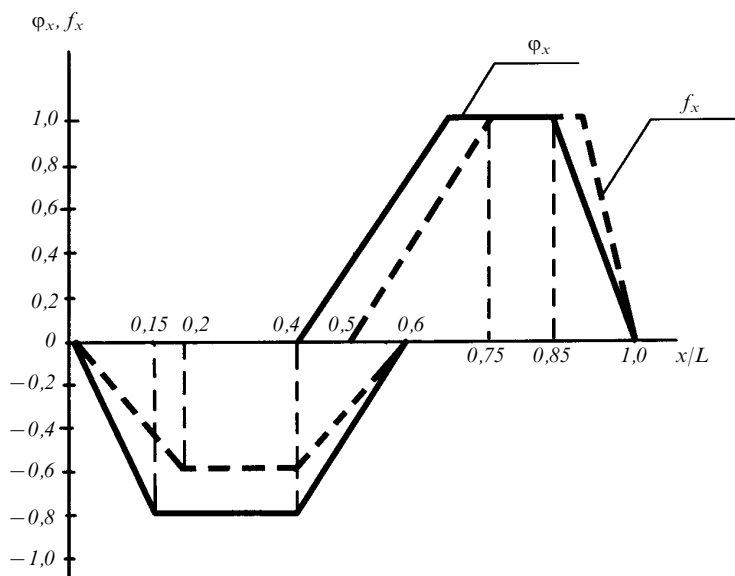


Рис. 2.2.7-1
Значения φ_x и f_x



Рис. 2.2.7-2
Положительное направление действия перерезающих сил

2.3. ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЙОНА ПЛАВАНИЯ

Для судов ограниченного района плавания при определении волновых и динамических моментов по приведенным выше формулам высоты расчетных волн согласно рис. 2.2.3-1 уменьшаются пропорционально редукционному коэффициенту ϕ^1 , значения которого приведены

¹ Значения параметра ϕ , так же, как и приведенные далее в табл. 5.1 значения аналогичного параметра ϕ_r , соответствуют указанным в действующих Правилах Регистра. В случае изменения значений этих параметров в следующих изданиях Правил аналогично изменятся и их значения в настоящем документе.

в табл. 2.3¹. При этом расчетные волновые изгибающие моменты согласно (2.2.3-1) дополнительно изменяются пропорционально

Таблица 2.3

Районы плавания	φ
I	$1,1 - 0,0023L \leq 1$
II	$1,0 - 0,0025L$
II СП	$0,94 - 0,0026L$
III СП	$0,71 - 0,0022L$
III	$0,6 - 0,002L$

$\mu = v\Phi,$ (2.3-1)

где $v = \frac{1}{1 + \Delta_v};$ (2.3-2)
 $\Delta_v = 0,045(\alpha - 0,25)^2 \frac{L}{20D_1\eta\phi} \cdot \frac{L}{100};$

η — коэффициент использования механических свойств стали, определяемый действующими Правилами Регистра;

$D_1 = D_{\otimes} + h_k;$

h_k — высота непрерывных продольных комингсов грузовых люков, м (при их отсутствии $h_k = 0$);

$\Phi = 0,95(1 + k_b f \cdot 10^{-2}) \geq 1;$ (2.3-3)

$k_b = \alpha^2(0,5 + 2,5\sin \beta_0) \geq \alpha$ при обычных обводах носовой оконечности (без бульба);

$k_b = \alpha^2(1 + \alpha^2) \geq 1$ при бульбовой форме носовой оконечности;

α — коэффициент полноты летней грузовой ватерлинии;

β_0 — угол между касательной к шпангоуту и вертикалью на уровне летней грузовой ватерлинии в сечении, расположенном на расстоянии $0,4(1 - c_b)L \leq 0,1L$ от носового перпендикуляра;

$f = \left\{ \frac{Lv_0}{220D_1\eta\phi} [1 + (L/100)^{2/3}] \right\}^{1,5} (L/100)^{0,75}.$ (2.3-4)

3. КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА

3.1. СОСТАВ КРИТЕРИЕВ

Общая прочность корпуса проверяется:

а) по предельному состоянию на изгиб при действии максимально возможной алгебраической суммы расчетных значений волнового

¹ При длинах судов, выходящих за пределы $60 \leq L \leq 150$ м, порядок определения значений коэффициента ϕ подлежит согласованию с Регистром.

изгибающего момента $M_{в1}$, динамических изгибающих моментов M_d^d и M_d^o от ударов при погружении в волну днища и развалов носовой оконечности, соответственно, а также изгибающих моментов на тихой воде $M_{тв1}$ при перегибе и прогибе судна, соответственно, на вершине и подошве расчетной волны;

б) по предельному состоянию на срез при действии максимально возможной алгебраической суммы расчетных значений перерезывающих сил, соответствующих указанным в а) составляющим изгибающего момента;

в) по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности под действием волнового изгибающего момента $M_{в2}$ с учетом действия изгибающих моментов на тихой воде $M_{тв2}$.

Знак изгибающего момента принимается положительным при перегибе корпуса и отрицательным — при прогибе.

Для судов с большим раскрытием палуб (с относительной шириной палубных вырезов более 70 % от общей ширины корпуса) расчет общей прочности выполняется по специальной методике, согласованной с Регистром.

Расчеты общей предельной прочности по указанным выше критериям производятся для всех вариантов загрузки, предусмотренных инструкцией по загрузке судна, при которых возможны наименьшие запасы прочности в проверяемых сечениях с учетом влияния этих вариантов загрузки на величины $M_{тв1}$.

При этом во всех случаях из характеристик общей прочности, определяемых по проектным размерам конструктивных связей, вычитается проектный запас на их коррозионный износ (см. гл. 4.3), что отмечается введением штриха над обозначением соответствующего параметра прочности.

3.2. ПРОВЕРКА ОБЩЕЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ

Эта проверка должна показать, что как при прогибе, так и перегибе корпуса судна на волнении в грузу и балласте отношение предельного изгибающего момента корпуса к наибольшему расчетному суммарному изгибающему моменту удовлетворяет условию

$$\frac{M_{прj}}{|M_{в1} + M_d + M_{тв1}|} \geq (K_3^{min})_j, \quad (3.2-1)$$

где $M_{прj}$ — расчетный предельный изгибающий момент для корпуса судна при его прогибе ($j=1$) и перегибе ($j=2$);

$M_{в1}$ — расчетные вертикальные волновые изгибающие моменты при прогибе и перегибе, определяемые согласно зависимости (2.2.3-1);

M_d — расчетный динамический изгибающий момент (порядок его определения объясняется ниже);

$M_{\text{тв}1}$ — величина $M_{\text{тв}}$, выбираемая из реально возможных величин этой нагрузки таким образом, чтобы абсолютная величина алгебраической суммы изгибающих моментов в выражении (3.2-1) при прогибе и перегибе корпуса достигала в поперечном сечении корпуса максимума;

$K_3^{\min}$ — минимальные коэффициенты запаса предельной прочности корпуса, значения которого равны:

$(K_3)_1^{\min} = 1,20$ — при прогибе корпуса судна на подошве расчетной волны;

$(K_3)_3^{\min} = 1,30$ — при перегибе корпуса судна на вершине расчетной волны.

Величина

$$M_{\text{пр}j} = \sigma_{\text{кр}} W'_{oj} \cdot 10^{-3}, \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3.2-2)$$

Здесь $\sigma_{\text{кр}}$ — критические напряжения в проверяемых крайних по высоте жестких продольных связях корпуса¹, вызывающие необратимые нарушения их формы (потерю устойчивости при сжатии или текучесть материала при растяжении);

W'_{oj} — минимальные из значений предельных моментов сопротивления в рассматриваемом поперечном сечении корпуса судна, определяемые в предположении справедливости гипотезы плоских сечений относительно рассматриваемых крайних по высоте продольных связей с учетом редукции теряющих устойчивость при сжатии продольных связей от напряжений (см. 4.4.2), соответствующих действию расчетного изгибающего момента M_{pj} при прогибе ($j=1$) и перегибе ($j=2$) корпуса и без проектного запаса на износ (см. гл. 4.3).

$$M_{pj} = K_3^{\min} M_{\Sigma j}, \quad (3.2-3)$$

где $M_{\Sigma j}$ — алгебраическая сумма изгибающих моментов в знаменателе выражения (3.2-1).

Величина M_d при прогибе судна на подошве расчетной волны определяется по формуле

$$M_d = 0,7 M_d^{\text{д}} + M_d^{\text{б}}, \quad (3.2-4)$$

где $M_d^{\text{д}}$ — определяется согласно (2.2.6-1);

$M_d^{\text{б}}$ — определяется согласно (2.2.6-4).

Величина M_d при перегибе судна определяется по формуле

$$M_d = 0,3 (M_d^{\text{д}} + M_d^{\text{б}} \frac{\Phi_{\text{хм}}}{f_{\text{хм}}}), \quad (3.2-5)$$

где $\Phi_{\text{хм}}$ и $f_{\text{хм}}$ — см. рис. 2.2.3-2.

Величина W'_{oj} определяется без запасов на износ (см. гл. 4.3), что здесь и в дальнейшем отмечается штрихом над соответствующим обозначением.

В дополнение к условию (3.2-1) должно выполняться условие

$$(W'_{\text{од}})_j / (W'_{\text{оп}})_j \geq (1,0 + D_{\otimes} / L) (K_3^{\min})_j / (K_3^{\Phi})_j, \quad (3.2-6)$$

где $(W'_{\text{од}})_j$, $(W'_{\text{оп}})_j$ — предельные моменты сопротивления корпуса судна в его поперечном сечении относительно днища и верхней палубы, соответственно, при прогибе ($j=1$) и перегибе ($j=2$) корпуса судна;

¹ Под продольными жесткими связями корпуса понимаются балки, подкрепляющие обшивку (гибкие связи), а также продольные кромки сопряжения ортогональных между собой плоскостей продольных поясков обшивки (например, палубный стрингер и ширстрек) — см. также 4.4.2.

$(K_3^{\min})_j, (K_3^{\Phi})_j$ — минимально необходимые в условии (3.2-1) и фактические значения коэффициентов запаса согласно этому условию.

Проверка по предельному состоянию корпуса на срез производится согласно условию

$$\frac{N_{\text{пр}}}{|N_{\text{п}} + N_{\text{тв}}|} \geq 1,25, \quad (3.2-7)$$

где $N_{\text{п}}$ — переменная составляющая перерезывающей силы от волновой и динамической составляющих внешних сил согласно зависимостям (2.2.7-1) и (2.2.7-2) с учетом правила знаков, устанавливаемого рис. 2.2.7-2;

$N_{\text{тв}}$ — перерезывающая сила в рассматриваемом поперечном сечении корпуса от возможного варианта загрузки судна на тихой воде, приводящего к максимальной величине знаменателя в выражении (3.2-7), равная

$$N_{\text{пр}} = 5\sigma_{\text{т}}\Omega' \cdot 10^{-2}, \text{ кН}; \quad (3.2-8)$$

Ω' — суммарная площадь поперечных сечений обшивки бортов и продольных переборок в сечении, для которого осуществляется проверка условия (3.2-7), см^2 .

Определение составляющих величины Ω' производится, исходя из площадей нетто рассматриваемых вертикальных связей с исключением вырезов, уменьшающих площади их поперечных сечений, и проектной надбавки на износ (см. гл. 4.3).

3.3. ПРОВЕРКА ОБЩЕЙ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

Проверка по критерию общей усталостной прочности для продольных связей верхней палубы и днища производится в соответствии с зависимостью

$$\frac{M_{\text{в2}}v\Phi}{W'_{\text{п(д)}}} 10^3 \leq \frac{k_{\text{д}}^{\text{п(д)}}}{k_{\text{т}}^{\text{п(д)}}} k_{\text{сг}}^{\text{п(д)}} (\sigma_F)_{\text{п(д)}}, \quad (3.3-1)^1$$

где $M_{\text{в2}}$ — размах (удвоенная амплитуда) расчетного вертикального волнового изгибающего момента, определяемый согласно зависимости (2.2.3-1) при $h_i = h_2$ для характерного грузового состояния судна;

v — параметр гибкости корпуса, определяемый в соответствии с выражением (2.3-2);

Φ — параметр волновой вибрации, определяемый согласно выражению (2.3-3)¹;

$W'_{\text{п(д)}}$ — момент сопротивления проверяемого поперечного сечения корпуса, определяемый относительно его верхней расчетной палубы (днища) за вычетом проектного запаса на износ, см^3 ;

$k_{\text{д}}^{\text{п(д)}}$ — коэффициент допускаемых напряжений для продольных связей верхней палубы (днища).

Значения $k_{\text{д}}^{\text{п(д)}}$ принимаются равными:

для верхней палубы $k_{\text{д}}^{\text{п}} = 1,35$,

для наружного дна $k_{\text{д}}^{\text{д}} = 1,25$ — для сухогрузных судов,

$k_{\text{д}}^{\text{д}} = 1,15$ — для наливных и навалочных судов;

¹ Для судов неограниченных районов плавания длиной $L < 200$ м можно полагать произведение $v\Phi = 1$.

$k_t^{n(d)}$ — коэффициент учета соотношения времени эксплуатации и статической напряженности конструкций судна в грузу и балласте, равный

$$k_t^{n(d)} = k_{\Delta c}^{n(d)} [\bar{t}_r + (1 - \bar{t}_r)(1 + \bar{\sigma}_{сб}^{n(d)} - \bar{\sigma}_{сг}^{n(d)})^4 (\alpha_6/\alpha_r)^5 (d_r/d_6)^{2/3}]^{1/4}. \quad (3.3-2)$$

Здесь $\bar{\sigma}_{сб}^{n(d)} = \frac{\sigma_{сб}^{n(d)}}{650} \eta^{2/3}$; $\bar{\sigma}_{сг}^{n(d)} = \frac{\sigma_{сг}^{n(d)}}{650} \eta^{2/3}$;

$\bar{\sigma}_{сб}^{n(d)}$, $\bar{\sigma}_{сг}^{n(d)}$ — средние (статические) напряжения от изгибающих моментов на тихой воде в рассматриваемом поперечном сечении корпуса в верхней палубе (днище) при характерных грузовых состояниях судна в балласте (б) и в грузу (г) с учетом правила знаков для напряжений $\sigma_c(+)$ при растяжении и $\sigma_c(-)$ — при сжатии, МПа;

η — коэффициент использования механических свойств стали;

t_r — относительная доля времени пребывания судна в грузовых рейсах от общего времени эксплуатации судна; при отсутствии соответствующих данных можно полагать:

$\bar{t}_r = 0,55$ — для танкеров,

$\bar{t}_r = 0,60$ — для навалочных судов,

$\bar{t}_r = 0,75$ — для сухогрузных и контейнерных судов;

$\alpha_{r(б)}$ — коэффициент полноты действующей ватерлинии при расчетных осадках в грузу (балласте) судна;

d_r , d_6 — расчетные осадки в грузу и балласте (при $d_6 < 0,035L$ следует полагать $d_6 = 0,035L$).

Коэффициент $k_{\Delta c}$ в формуле (3.3-2) учитывает влияние цикличности изменения статических напряжений в результате изменения грузовых состояний судна (груз-балласт). Величина этого коэффициента принимается равной

$$k_{\Delta c} = 1 + 0,9 |\bar{\sigma}_{сб} - \bar{\sigma}_{сг}|^{1,25}. \quad (3.3-3)$$

Коэффициент $k_{сг}^{n(d)}$ в условии (3.3-1) учитывает непосредственное влияние средних (статических) напряжений в грузовом состоянии судна. Его величина равна

$$k_{сг}^{n(d)} = 1,1 (1 - \sigma_{сг}^{n(d)} / \sigma_T^n)^{2/3}. \quad (3.3-4)$$

Параметр $(\sigma_F^0)_{п(д)}$ в условии (3.3-1) — предел усталостной прочности конструктивных узлов основных продольных связей верхней палубы корпуса (наружного дна), в качестве которых следует принимать массовые узлы пересечения балок основного продольного набора с поперечными связями; значения $(\sigma_F^0)_{п(д)}$ определяются согласно данным табл. 2 приложения 2, либо по расчетным или экспериментальным данным, порядок определения которых указывается в приложении 3 (см. также (6.3.1.5)).

При этом во всех случаях следует считать

$$\sigma_F^0 \leq 65 \eta^{-0,4}, \text{ МПа}. \quad (3.3-5)$$

В качестве расчетных изгибающих моментов на тихой воде $M_{\text{TB}2}$ в грузу и балласте при определении значений напряжений $\sigma_{\text{сг}}^{\text{п(д)}}$ и $\sigma_{\text{сб}}^{\text{п(д)}}$, а также при вычислении коэффициентов выражения (2.2.3-1) для $M_{\text{в}2}$ принимаются такие величины $M_{\text{TB}2}$ в среднем районе длины судна (у миделя протяженностью $0,2L$), которые соответствуют наиболее характерным — типовым случаям распределения нагрузки судна в указанных условиях. Эти величины определяются путем осреднения расчетных значений $M_{\text{TB}2}$ в рассматриваемых условиях нагружения на указанном интервале среднего района длины судна.

Условие (3.3-1) соответствует расчетному сроку эксплуатации судна $T_p = 25$ лет. При другом времени T_p правая часть этого условия умножается на величину

$$\bar{T}^{-1/4} = (25/T_p)^{1/4}. \quad (3.3-6)$$

Проверка усталостной прочности в соответствии с критерием (3.3-1) обычно производится в пределах средней половины длины корпуса судна. По специальному требованию Регистра эта проверка может быть распространена и за пределы указанного района. Основанием этому может являться применение конструктивных узлов с высоким уровнем концентрации напряжений в сочетании с высокой напряженностью конструкций, обусловленной применением сталей повышенной прочности.

3.4. КОРПУСА СУДОВ С ШИРОКИМ РАСКРЫТИЕМ ПАЛУБЫ

При расчетах общей усталостной прочности корпусов судов с широким раскрытием палубы (относительная ширина палубных вырезов $\bar{b} = b/B \geq 0,7$), которые производятся по специальному указанию Регистра по согласованной с ним методике, суммарные нормальные напряжения в углах вырезов с учетом совместного действия вертикальных, горизонтальных, а также скручивающих волновых моментов находятся путем увеличения напряжений от общего вертикального изгиба пропорционально коэффициенту

$$k_{\Sigma 2} = 0,92 \sqrt{1 + 0,4(0,85 + L/600)^2 (\bar{\sigma}_k + \bar{\sigma}_r)^2} \geq 1. \quad (3.4-1)$$

Здесь $\bar{\sigma}_k = \sigma_k / \sigma_b$; $\bar{\sigma}_r = \sigma_r / \sigma_b$;

σ_k и σ_r — максимальные нормальные расчетные напряжения, соответственно, от кручения и горизонтального изгиба корпуса по продольным кромкам вырезов в пределах средней половины длины корпуса, определяемые расчетом без учета концентрации напряжений (номинальные значения);

σ_b — расчетные нормальные напряжения от вертикального волнового изгиба корпуса в тех же сечениях конструкции (номинальные значения).

Напряжения σ_k и σ_r определяются по специальной методике при курсовом угле судна к расчетной волне $\varphi = 60^\circ$ и ее длине, равной половине длины судна ($\lambda = L \cos 60^\circ$).

Высота расчетной волны при этом принимается равной $h_k = h_d = 0,5(1 + 0,15L/100)h_2$, где h_2 — см. рис. 2.2.3-1. Величина коэффициента k_i в (2.2.3-1) при определении σ_b в (3.4-1) равна 0,5.

Величина σ_r может быть приближенно найдена по формуле

$$\bar{\sigma}_r = \frac{12d}{L} \frac{W_n}{W_d}, \quad (3.4-2)$$

где W_n — момент сопротивления корпуса относительно его верхней палубы при вертикальном изгибе;

W_r — момент сопротивления корпуса при его горизонтальном изгибе, определяемый относительно ближайших к борту продольных кромок палубных вырезов.

При проверке общей предельной прочности в соответствии с критерием (3.2-1) корпусов судов с широким раскрытием палубы предельный изгибающий момент, определяемый согласно выражению (3.2-2), уменьшается пропорционально коэффициенту

$$k_{\Sigma 1} = 1,05[1 - (1,25M_p^{ct}/M_{pr}^{ct})^{1,5}] \leq 1. \quad (3.4-3)$$

Здесь M_p^{ct} — расчетный изгибающий момент в опорных сечениях палубного стрингера в районе поперечных кромок палубных вырезов, вызванный опорными реакциями бортового перекрытия от действующих на него волновых нагрузок при высоте расчетной волны h_1 (см. рис. 2.2.3-1) без учета внутреннего противодействия;

M_{pr}^{ct} — предельный изгибающий момент для палубного стрингера, рассматриваемого в виде балки, работающей на изгиб в своей плоскости.

Величина M_{pr}^{ct} определяется по формуле

$$M_{pr}^{ct} = \sigma_T^n W_0^{ct} \cdot 10^{-3}, \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3.4-4)$$

Здесь W_0^{ct} — предельный момент сопротивления палубного стрингера, определяемый с учетом присоединенных поясков бортовой обшивки и внутреннего борта (при его наличии), см^3 .

Ширина присоединенных поясков принимается равной $S_6 = \frac{1}{12} l_{ct}$, где l_{ct} — длина свободного пролета палубного стрингера между люковыми перемышками, м.

4. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ КОРПУСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Проверка общей прочности корпуса судна должна производиться в районе миделя и других поперечных сечений, в которых можно ожидать наличие наименьших запасов прочности. Число этих сечений обычно должно быть не меньше трех.

При вычислении момента сопротивления поперечного сечения корпуса должны учитываться все непрерывные продольные связи днища, борта, палуб и продольных переборок.

Карлингсы, стрингеры и другие продольные балки палубы, днища и борта включаются в сечение полностью, если они непрерывны по длине на расстоянии не менее четырех собственных высот в нос и в корму от расчетного сечения, и их соединение со смежными непрерывными жесткими конструкциями обеспечивает совместное деформирование продольных связей в составе корпуса.

При использовании в стальных корпусах судов конструкций из алюминиевых сплавов, участвующих в общем изгибе, площади поперечных сечений продольных связей таких конструкций должны учитываться в составе эквивалентного бруса с редуцированными коэффициентами, равными отношению модулей нормальной упругости сплава и стали.

4.2. ПРЕРЫВИСТЫЕ СВЯЗИ СУДОВОГО КОРПУСА

Степень участия в общем продольном изгибе надстроек, рубок, разрезных комингсов, а также продольных палубных связей, расположенных между парными люковыми вырезами, должна определяться расчетным путем.

При включении в состав эквивалентного бруса надстроек, распределение напряжений по высоте которых не соответствует гипотезе плоских сечений, под величиной момента сопротивления W'_n в выражении (3.3-1), а также W'_0 в выражении (3.2-2) следует понимать величину

$$W'_j = \beta_n W(z_n), \quad (4.2-1)$$

где $W(z_n) = M/\sigma(z_n)$;

- M — расчетный изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении корпуса с надстройкой;
- $\sigma(z_n)$ — соответствующее величине M значение нормальных напряжений, действующих в крайней верхней связи (в палубе) надстройки; эти напряжения определяются по специальной методике, учитывающей действительную степень участия продольных связей надстройки в общем изгибе корпуса;
- β_n — коэффициент, учитывающий влияние коррозионного износа, определяемый по формуле
- $$\beta_n = 1 - k_L k_D k_T \text{ (см. гл. 4.3).}$$

Для одноярусных надстроек постоянного по длине сечения, а также рубок, опирающихся не менее чем на три поперечные переборки, допускается приближенный учет в составе эквивалентного бруса их продольных связей в соответствии с рис. 4.2, а именно: площади сечения стенок и продольных переборок включаются пропорционально расстоянию от конца надстройки под углом 15° , а площадь сечения палубы — под углом α , который определяется по формуле

$$\alpha = \arctg \sqrt{(\delta_{ст} + \delta_n) / 14t}, \quad (4.2-2)$$

где t — толщина палубы надстройки;

$\delta_{ст}$ — толщина продольной стенки надстройки;

δ_n — суммарная толщина внутренних продольных переборок.

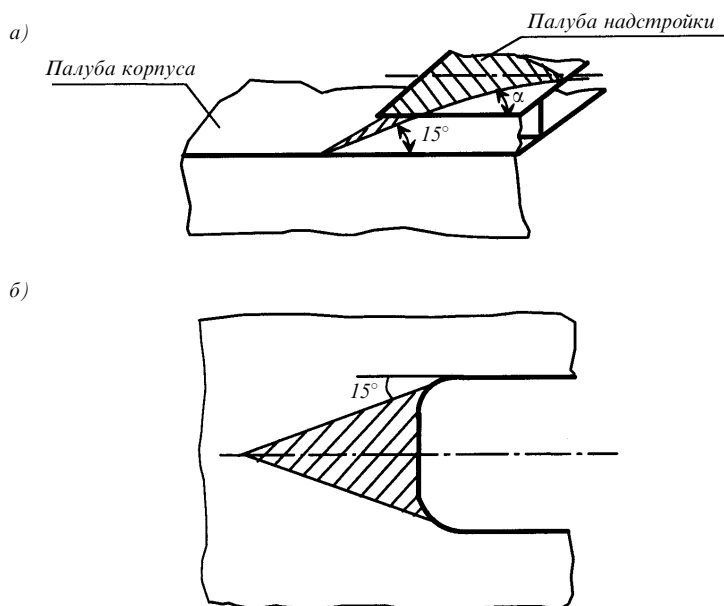


Рис. 4.2

Включение связей в эквивалентный брус:

 — не включаемые связи

Формула (4.2-2) относится к случаю, когда продольные переборки не имеют часто расположенных оконных и других вырезов шириной, большей расстояния между вырезами.

Расчетные напряжения в палубе надстройки (рубки), включенной в состав эквивалентного бруса указанным способом, на участке неполного включения поперечного сечения могут быть определены путем умножения напряжений, найденных в соответствии с гипотезой плоских сечений, на величину

$$\varphi = \sqrt{\psi}, \quad (4.2-3)$$

где ψ — отношение включенной площади сечения надстройки (рубки) к ее полной площади сечения.

Расчет надстроек переменного сечения, а также многоярусных надстроек должен производиться по методике, согласованной с Регистром.

Учет вырезов в продольных связях корпуса при определении элементов эквивалентного бруса соответствует принятому в Правилах Регистра.

При однорядной схеме расположения грузовых люков и непрерывной конструкции их продольных комингсов допускается считать комингсы полностью включенными в состав поперечного сечения корпуса. При этом расчетные моменты сопротивления корпуса W' для верхних кромок комингсов рассчитываются путем деления момента инерции поперечного сечения корпуса относительно его горизонтальной нейтральной оси на величину z_T , определяемую по формуле

$$z_T = z_K(0,9 + 0,2y/B) \geq z_6, \quad (4.2-4)$$

где z_K — расстояние от нейтральной оси корпуса до верхней кромки продольного комингса;

z_6 — расстояние от нейтральной оси до верхней кромки борта;

y — отстояние стенки комингса от диаметральной плоскости корпуса.

При многорядной схеме расположения грузовых люков степень включения в состав поперечного сечения корпуса продольных связей, расположенных между рядами вырезов, должна оцениваться специальным расчетом.

При применении в качестве материала непрерывных продольных комингсов стали с пределом текучести, отличающимся от используемого в верхней палубе корпуса, проверка выполнения условия предельной прочности (3.2-1) с учетом (3.2-2) осуществляется при значениях W' , определяемых как для верхних кромок комингсов, так и для верхней палубы при величинах $\sigma_{кр}$ для этих связей.

4.3. ПОРЯДОК УЧЕТА ЗАПАСОВ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА

Характеристики общей прочности корпуса при выполнении расчетов общей прочности вводятся в расчетные зависимости без учета проектных запасов на износ. Соответствующие величины моментов сопротивления корпуса, см³, определяются согласно зависимости

$$W'_{п(д)} = W_{п(д)} - \Delta W_{п(д)}, \quad (4.3-1)$$

где $W_{п(д)}$ — момент сопротивления корпуса относительно его верхней палубы (днища), соответствующий проектным размерам сечений продольных связей корпуса;
 $\Delta W_{п(д)}$ — проектный запас на износ.

Величины $\Delta W_{п(д)}$, см³, в каждом сечении корпуса могут быть определены по формуле

$$\Delta W_{п(д)} = k_{п(д)} W_{0x}, \quad (4.3-2)$$

$$\text{где } W_{0x} = \varphi^{0,5} c_w B L^2 (c_b + 0,7) \varphi_{xw}; \quad (4.3-3)$$

φ — редуционный коэффициент снижения расчетных высот волн для судов ограниченного и смешанного районов плавания, значения которого приведены в табл. 2.3;

$$c_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} \leq 10,75, \text{ м, для } L < 90 \text{ м } c_w = 0,0856L; \quad (4.3-4)$$

φ_{xw} — коэффициент, определяемый согласно рис. 4.3.

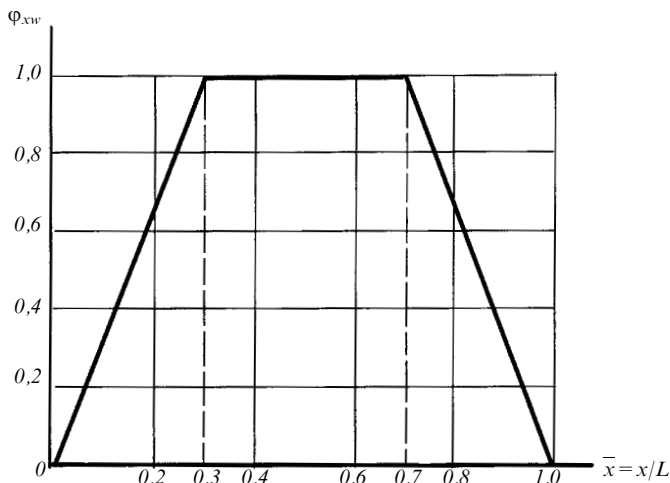


Рис. 4.3
Значения φ_{xw}

Значения коэффициентов $k_{\Pi(D)}$ определяются согласно следующим зависимостям:

$$k_{\Pi} = k_L k_D k_B k_{\Pi} k_T k_{\Pi, \Pi} \geq 0,05, \quad (4.3-5)$$

$$k_L = \frac{0,25}{(L/100)^2 + 1,0} \geq 0,05 \text{ (при } L \leq 80 \text{ м принимается } L = 80 \text{ м)},$$

$$k_D = 2,4 - 0,1L/D_{\otimes} \geq 0,5,$$

$$k_B = 1,6b/B + 0,2,$$

где b — ширина палубного настила между бортом и линией люковых вырезов, м;
 $k_{\Pi} = 0,75$ и $1,0$ — для судов групп I и II, соответственно, согласно 1.1.5 части II «Корпус» Правил¹;
 $k_T = (T_p/25)$;
 T_p — расчетный (планируемый) срок эксплуатации судна, годы;
 $k_{\Pi, \Pi} = 1,0$ и $1,1$ — для судов с одной палубой, двумя и большим числом палуб, соответственно.

$$k_d = k_L k_D k_{\Pi} k_T k_{\Pi(D)}, \quad (4.3-6)$$

где $k_{\Pi(D)} = 1,0, 1,05$ — для судов с одной палубой, двумя и большим числом палуб, соответственно.

Моменты инерции корпуса судна при изгибе в вертикальной плоскости без проектных запасов на износ определяются согласно выражению

$$J' = J[1 - 0,5\varphi^{0,5}(k_{\Pi} + k_d)], \quad (4.3-7)$$

где J — величина момента инерции сечений корпуса при проектных размерах продольных связей;
 k_{Π} и k_d — определяются согласно (4.3-5) и (4.3-6);
 φ — см. табл. 2.3.

Для суммарных площадей сечений вертикальных связей корпуса, воспринимающих перерезывающие силы (см. 3.2-8), величина Ω' без аналогичного запаса на износ определяется по формуле

$$\Omega' = \Omega(1 - \varphi^{0,5} k_L k_D k_{\Pi} k_T), \quad (4.3-8)$$

где Ω — указанная площадь при проектных размерах связей.

¹ Согласно этой терминологии группы:

I — сухогрузные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации;

II — наливные суда, суда для навалочных грузов, комбинированные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации.

4.4. ТРЕБОВАНИЯ К УСТОЙЧИВОСТИ

4.4.1 Устойчивость продольных элементов конструкций при сжимающих напряжениях от общего изгиба должна проверяться путем сравнения критических (исправленных эйлеровых) напряжений $\bar{\sigma}_{кр}$, определяемых с учетом уменьшения модуля нормальной упругости (см. рис. 4.4.1-1 и 4.4.1-2) и уменьшения толщин связей на величину проектного запаса на износ, с расчетными сжимающими напряжениями, вычисляемыми по формуле

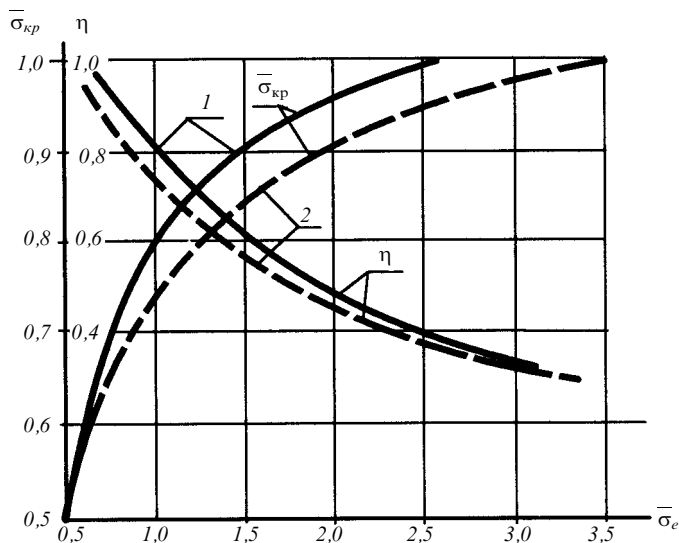


Рис. 4.4.1-1

Графики для определения критических (исправленных эйлеровых) напряжений балок, а также пластин при поперечной системе набора.

Здесь $\bar{\sigma}_e$ — теоретическое эйлерово напряжение;

$$\bar{\sigma}_e = \sigma_e / \sigma_T^H;$$

$\sigma_{кр}$ — критическое (исправленное эйлерово) напряжение;

$$\bar{\sigma}_{кр} = \sigma_{кр} / \sigma_T^H;$$

$$\eta = \sigma_{кр} / \sigma_e;$$

$$1 \text{ — для стали} \quad \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,12 - 0,312 / \bar{\sigma}_e & \text{при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_e < 2,6 \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_e & \text{при } \bar{\sigma}_e < 0,6 \\ \bar{\sigma}_{кр} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_e \geq 2,6 \end{cases}$$

$$2 \text{ — для алюминия} \quad \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,31 - 0,57 / \sqrt{\bar{\sigma}_e} & \text{при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_e < 3,4 \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_e & \text{при } \bar{\sigma}_e < 0,5 \\ \bar{\sigma}_{кр} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_e \geq 3,4 \end{cases}$$

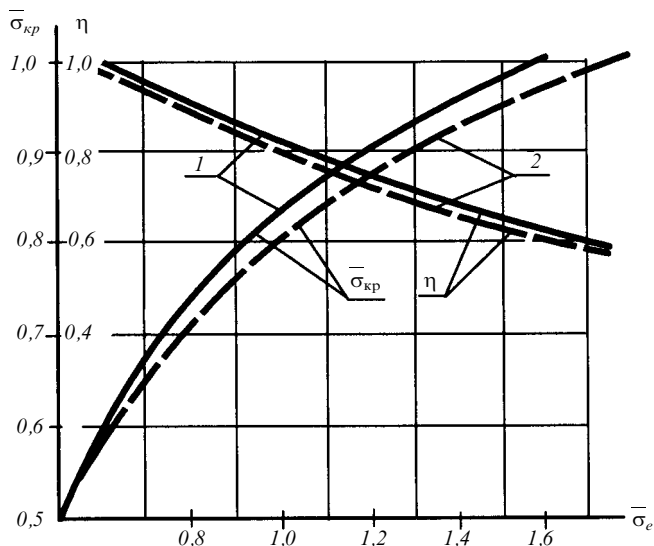


Рис. 4.4.1-2

Графики для определения критических (исправленных эйлеровых) напряжений пластин при продольной системе набора.

Здесь $\bar{\sigma}_e = \sigma_e / \sigma_T^H$,
 $\bar{\sigma}_{кр} = \sigma_{кр} / \sigma_T^H$,
 $\eta = \sigma_{кр} / \sigma_e$;

$$1 \text{ — для стали } \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,63 - 0,8/\sqrt{\bar{\sigma}_e} \text{ при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_e < 1,6 \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_e \text{ при } \bar{\sigma}_e < 0,6 \\ \bar{\sigma}_{кр} = 1 \text{ при } \bar{\sigma}_e \geq 1,6 \end{cases}$$

$$2 \text{ — для алюминия } \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,94 - 1,14/\sqrt[3]{\bar{\sigma}_e} \text{ при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_e < 1,8 \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_e \text{ при } \bar{\sigma}_e < 0,5 \\ \bar{\sigma}_{кр} = 1 \text{ при } \bar{\sigma}_e \geq 1,8 \end{cases}$$

Примечание: Приведенные на этом рисунке данные могут быть использованы также для оценки критических значений касательных напряжений листовых конструкций $\tau_{кр}$. При этом вместо $\bar{\sigma}_e$ и $\bar{\sigma}_{кр}$ вводятся соотношения $\bar{\tau}_e = \tau_e / \tau_T^H$ и $\bar{\tau}_{кр} = \tau_{кр} / \tau_T^H$; $\tau_T^H = 0,57\sigma_T^H$ — предел текучести стали по касательным напряжениям

$$\sigma_{cj} = K_3^{\min} \frac{|M_\Sigma|}{W'_0} \cdot \frac{|z_j|}{R}, \quad (4.4.1-1)$$

где $K_3^{\min}$ — минимальный коэффициент запаса, требуемый условием предельной прочности (3.2-1) при максимальном суммарном расчетном изгибающем моменте M_Σ в этом условии, вызывающем наибольшие усилия сжатия в связи;
 z_j — отстояние рассматриваемой продольной связи от нейтральной оси корпуса;
 R — отстояние от этой оси крайней связи эквивалентного бруса корпуса;
 W'_0 — см. формулу (3.2-2).

Устойчивость продольных элементов конструкции корпуса считается обеспеченной, если критические напряжения $\sigma_{кр}$ удовлетворяют условию

$$\sigma_{кр} \geq k_c \sigma_c, \quad (4.4.1-2)$$

где $k_c = 1$ — для балок продольного набора и перекрытий в целом;

$k_c = 0,80$ — для листовых элементов корпуса, включаемых в состав эквивалентного бруса при продольной системе набора и $k_c = 0,60$ — при поперечной системе набора.

Коэффициент k_c для пластин может быть уменьшен для судов ограниченного района плавания следующих категорий:

I — на 10 %, II и II СП — на 15 %, III и III СП — на 20 %.

Критические напряжения для балок продольного набора и перекрытий верхней расчетной палубы должны составлять не менее

$$\sigma_{кр} = 0,5(\sigma_c + \sigma_T^H). \quad (4.4.1-3)$$

4.4.2 При определении элементов эквивалентного бруса с учетом редуцирования гибких связей (пластин) под действием расчетных сжимающих напряжений редуцированию не подлежат прилегающие к продольным балкам части пластин шириной с каждой стороны балки по 0,25 от размера короткой стороны опорного контура пластин.

Редуцируемые части гибких связей вводятся в расчет с редуцированными коэффициентами ψ_n , определяемыми по формуле

$$\psi_n = \sigma_{кр} / \sigma_c, \quad (4.4.2-1)$$

где σ_c — действующие в жестких связях сжимающие напряжения согласно (4.4.1-1) (абсолютные величины);

$\sigma_{кр}$ — критические напряжения гибких связей, определяемые в соответствии с рис. 4.4.1-1 и 4.4.2-2.

4.4.3 При поперечной системе набора жесткость поперечных балок (бимсов) должна доводиться до критической, при которой потеря устойчивости гибких связей (пластин) происходит без смещения балок в своей плоскости.

4.4.4 Расчет теоретических эйлеровых напряжений σ_z , МПа, производится при проектных толщинах конструкций, уменьшенных на проектный запас (надбавку) на износ, определяемый в соответствии с 1.1.5 части II «Корпус» Правил.

Одновременно должно учитываться и соответствующее уменьшение расчетных площадей поперечного сечения балок, обусловленное вычитанием указанного запаса.

Для балок и балочных систем, образованных приваркой к обшивке перекрытий профилей катаного полособульбового и сварного таврового профиля, допускается определение σ_3 при проектных толщинах элементов балок (без вычитания проектных запасов на износ). При этом, однако, соответствующие значениям σ_3 критические напряжения $\sigma_{кр}$ при проверке устойчивости конструкций должны сравниваться с расчетными сжимающими напряжениями, определенными при проектных толщинах конструкций, уменьшенных на величины проектных запасов на износ.

4.4.5 Теоретические эйлеровы напряжения σ_3 , МПа, (см. 4.4.4) для изолированных балок основного набора при проверке устойчивости определяются по формуле

$$\sigma_3 = \frac{\pi^2 E i'}{F' l_i^2} \cdot 10^{-4}, \quad (4.4.5-1)$$

где E — модуль нормальной упругости материала, МПа (для стали можно полагать $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа);

i' — момент инерции балки, см^4 , с присоединенным пояском обшивки, вычисленный с учетом уменьшения толщин элементов балки при вычитании проектных запасов на износ;

F' — площадь поперечного сечения балки, см^2 , с учетом пояса обшивки, воспринимающего продольную нагрузку при толщинах, уменьшенных на величины проектных запасов на износ;

l_i — расчетная длина свободного пролета балки, м, определяемая как расстояние между ее опорными сечениями.

В соответствии с указанным в 4.4.4 в 4.4.5-1 можно полагать

$$i'/F' \approx i/F. \quad (4.4.5-2)$$

4.4.6 Эйлеровы нормальные σ_3 и касательные τ_3 напряжения, МПа, листовых прямоугольных элементов стальных конструкций, жестко опертых на свой опорный контур, определяются как для прямоугольных пластин по формулам:

$$\sigma_3 = 0,19 n_\sigma (s'/b)^2; \quad (4.4.6-1)$$

$$\tau_3 = 0,19 n_\tau (s'/b)^2, \quad (4.4.6-2)$$

где s' — фактическая толщина пластины, мм, уменьшенная на величину проектного запаса на износ, мм;

b — меньшая сторона пластины, м;

n_σ — коэффициент, зависящий от вида нагружения пластины и отношения сторон опорного контура.

n_τ — коэффициент, зависящий от отношения сторон опорного контура.

Для пластин, нагруженных вдоль длинной стороны опорного контура,

$$n_{\sigma} = \frac{8,8}{\psi + 1,1} \text{ для } (0 \leq \psi \leq 1); \quad (4.4.6-3)$$

для пластин, нагруженных перпендикулярно длинным сторонам опорного контура,

$$n_{\sigma} = c[1 + (b/l)^2], \quad (4.4.6-4)$$

где ψ — коэффициент, учитывающий степень неравномерности сжатия кромок пластины (см. рис. 4.4.6);

$c = 1,35$ — для пластины, подкрепленной флорами или рамным набором;

$c = 1,25$ — для пластины, подкрепленной балками таврового и углового профиля;

$c = 1,20$ — при подкреплении балками полособульбового профиля;

$c = 1,05$ — при подкреплении балками полосового профиля.

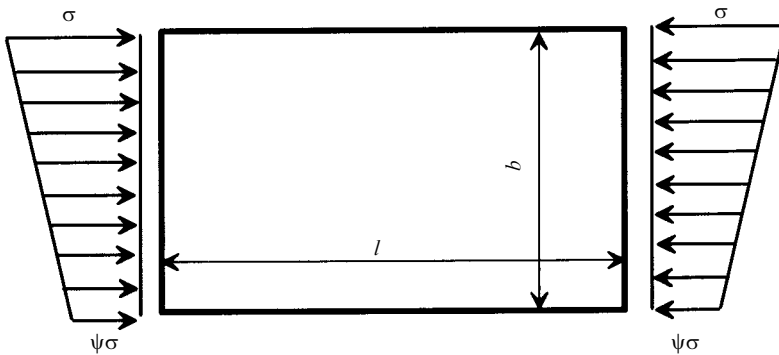


Рис. 4.4.6
Параметры пластины и ее сжатия

Для пластин, вытянутых в продольном направлении жестко опертых по трем кромкам и свободных по четвертой продольной кромке,

$$n_{\sigma} = \frac{0,57}{\psi + 1/3}. \quad (4.4.6-5)$$

Коэффициент n_{τ} в формуле (4.4.6-2) определяется следующим образом:

$$n_{\tau} = 5,35 + 4(b/l)^2. \quad (4.4.6-6)$$

4.4.7 Для прямоугольных пластин, вытянутых в направлении действия сжимающих напряжений и ослабленных центральным кру-

глым отверстием, значения σ_z , определенные по формуле (4.4.6-1), умножаются на коэффициент

$$m_d = 1 - (0,5 + 0,25\psi)(d/b), \quad (4.4.7-1)$$

где ψ — фактор неравномерности распределения снимающих напряжений, иллюстрируемый рис. 4.4.6;

d — диаметр отверстия, м;

b — ширина пластины, м.

При подкреплении кромок отверстия полосовым фланцем фактор m_d домножается на множитель m_h , определяемый по формуле

$$m_h = 0,8 + 0,1h/t_0, \quad (4.4.7-2)$$

где h — ширина фланца, мм; при этом в формуле $h/t_0 \leq 8$;

$t_0 \approx s_1$ — толщина подкрепляемой пластины, мм.

4.4.8 Для пластин, изогнутых по цилиндрической поверхности и нагруженных сжимающими напряжениями вдоль образующей (см. рис. 4.4.8), значения коэффициента n_σ в выражении (4.4.6-1) равны

$$\text{при } l/R \leq 0,5\sqrt{R/\delta'} \quad n_\sigma = 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{l^2}{R\delta'}$$

(здесь значения l , R и δ принимаются в мм)

$$\text{при } l/R > 0,5\sqrt{R/\delta'} \quad n_\sigma = 1 + 0,267 \cdot \frac{l^2}{R\delta'} [3 - l/R\sqrt{\delta'/R}]. \quad (4.4.8)$$

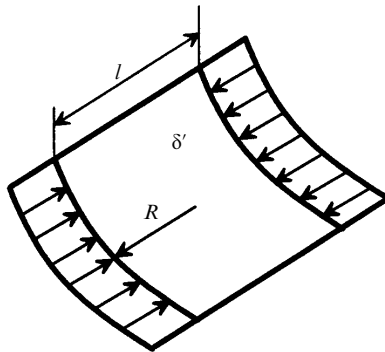


Рис. 4.4.8

Пластина, изогнутая по цилиндрической форме и сжатая вдоль образующей

При этом значения n_σ в зависимости от соотношения сторон опорного контура пластин не должны быть меньше значений n_σ согласно (4.4.6-3) при $\psi = 1$ и (4.4.6-4) для плоских пластин.

5. МЕСТНЫЕ НАГРУЗКИ

5.1. ОБЩЕЕ

Расчетные нагрузки, используемые при расчетах местной прочности, включают постоянные составляющие и переменные, обусловленные морским волнением.

Переменные составляющие местных нагрузок подразделяются на наибольшие амплитудные значения долговременной вероятности (обеспеченности) $P=10^{-8}$ и размахи (удвоенные амплитуды) эксплуатационных нагрузок обеспеченности $P=10^{-3}$. Первая категория нагрузок применяется для расчетной оценки запасов предельной прочности конструкций (см. гл. 6.2), а вторая — для проверки их усталостной прочности (см. гл. 6.3).

Первому типу переменных нагрузок для судов неограниченного плавания соответствуют расчетные высоты волн h_1 , второму — h_2 (см. рис. 2.2.3-1).

Для судов ограниченных районов плавания высоты волн h_i умножаются на редукционные коэффициенты φ_r , значения которых приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1¹

Районы плавания	φ_r
I	1
II	$1,25 - 0,0025L \leq 1$
II СП	$1,04 - 0,002L$
III СП	$0,86 - 0,0018L$
III	$0,75 - 0,0018L$

5.2. ВНЕШНИЕ РАСЧЕТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ НА НАРУЖНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА

5.2.1 Расчетные статические давления, кПа, ниже расчетной ватерлинии определяются по формуле

$$p_{ст} = \rho_v g z_{WL} \approx 10 z_{WL}, \quad (5.2.1)$$

где z_{WL} — отстояние точки приложения нагрузки от расчетной ватерлинии, м.

¹ См. примечание к гл. 2.3.

Выше расчетной ватерлинии величина $p_{ст} = 0$.

Значения $p_{ст}$ непосредственно алгебраически суммируются с переменными давлениями p_w при определении наибольшей суммарной нагруженности корпусных конструкций на вершине и подошве расчетной волны. Эти давления также учитываются при оценке нагруженности конструкций при расчетах их усталостной прочности (см. рис. 5.2.1-1 и 5.2.1-2).

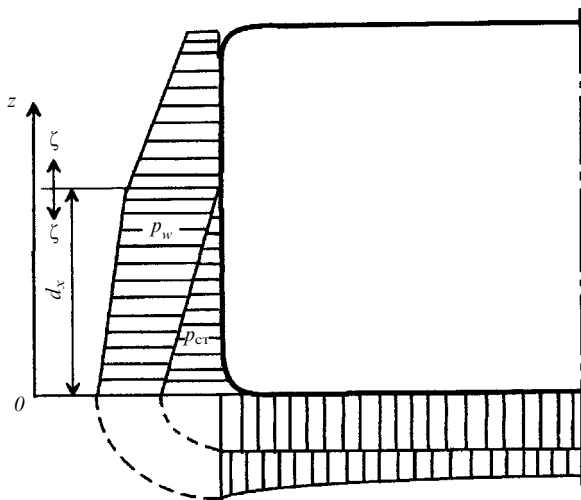


Рис. 5.2.1-1

Суммирование статических и максимальных переменных давлений

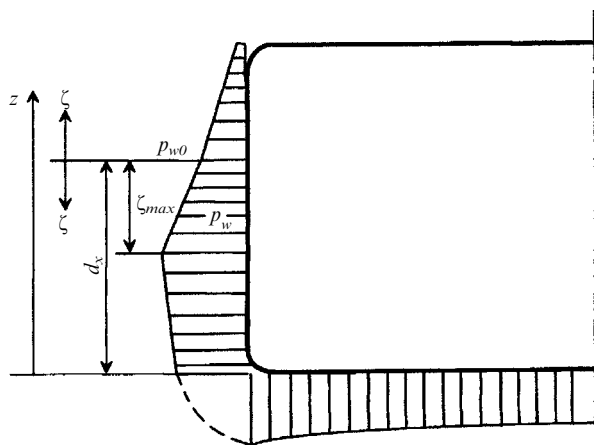


Рис. 5.2.1-2

Распределение размахов переменных давлений

5.2.2 Переменные наружные давления.

Расчетные давления, обусловленные перемещениями корпуса относительно профиля волны p_w , кПа (см. рис. 5.2.1-1 и 5.2.1-2), определяются по формулам:

для точек приложения нагрузок, расположенных выше расчетной ватерлинии

$$p_w = p_{w0} - 8\xi > 0, \quad (5.2.2-1)$$

где ξ — отстояние от расчетной ватерлинии (абсолютная величина), м;

для точек приложения нагрузок, расположенных ниже расчетной ватерлинии

$$p_w = p_{w0} f_p, \quad (5.2.2-2)$$

где p_{w0} — расчетные давления на уровне расчетной ватерлинии;

f_p — коэффициент, учитывающий изменение расчетных давлений в зависимости от положения рассматриваемой точки наружного контура корпуса (см. 5.2.2-5 — 5.5.2-9);

$$p_{w0} = h_i k_x k_p, \quad (5.2.2-3)$$

h_i — высоты расчетной волны, определяемые в соответствии с рис. 2.2.3-1 при $i=1$ — для определения амплитуд максимальных давлений, $i=2$ — при расчете размахов эксплуатационных давлений.

Коэффициент распределения давлений по длине судна (см. рис. 5.2.2) определяется по формулам:

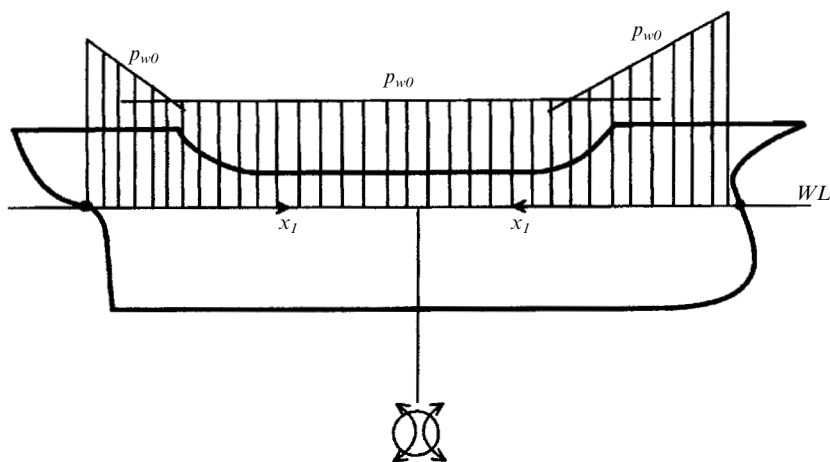


Рис. 5.2.2

Распределение давлений p_{w0} по длине корпуса

$$k_x = \frac{1,2(1 + 0,25v_0/\sqrt{L})}{c_b} (1 - 2,5x_1/L) \geq 1 \text{ — для поперечных сечений в нос от миделя;}$$

$$k_x = \frac{0,8(1 + 0,25v_0/\sqrt{L})}{c_b} (1 - 2,5x_1/L) \geq 1 \text{ — для поперечных сечений в корму от миделя,}$$

где x_1 — расстояние рассматриваемого поперечного сечения от ближайшего (носового или кормового) перпендикуляра, м.

При $c_b \leq 0,65$ принимается $c_b = 0,65$.

Коэффициент

$$k_p = (5,5 + 0,5L/100)k_c k_n, \quad (5.2.2-4)$$

где $k_c = (0,65/c_b)^{1/3} \leq 1$;

$k_n = 0,8 + 0,30H_n/k_x h_1$ — при определении наибольших расчетных амплитуд давлений;

H_n — высота надводной части борта в рассматриваемом сечении корпуса, м;

$k_n = 1$ — при определении размахов эксплуатационных давлений.

При определении амплитуд максимальных волновых давлений для борта судна в выражении (5.2.2-2)

$$f_p = 1 - 4\xi/L_1, \quad (5.2.2-5)$$

где ξ — расстояние точки приложения давлений от расчетной ватерлинии, м;

$$L_1 = L(100/L)^{0,25} \leq L;$$

для днища

$$f_p = (1 - 4d_x/L_1)(1 - v \cos \pi y/B_x), \quad v = (\pi/12)(10B_x/L)^{0,5}, \quad (5.2.2-6)$$

где y — расстояние рассматриваемой точки от диаметральной плоскости, м.

Для осредненных по ширине днища волновых давлений

$$f_p = (1 - 4d_x/L_1) \{1 - \frac{1}{6}(10B_x/L)^{0,5}\}. \quad (5.2.2-7)$$

При определении размахов волновых давлений

для участков судна, расположенных выше расчетной ватерлинии, используется выражение (5.2.2-1);

для борта ниже расчетной ватерлинии применяется выражение (5.2.2-2). В этом выражении f_p на расстоянии $\xi \leq \xi_{\max}$ от расчетной ватерлинии определяется по формуле

$$f_p = 1 + 0,85\xi/\xi_{\max}, \quad (5.2.2-8)$$

где $\xi_{\max} = 0,1p_{w0}$, м;

p_{w0} — см. 5.2.2-3, кПа.

На расстоянии $\xi_{\max} \leq \xi \leq d_x$ от расчетной ватерлинии

$$f_p = 1,85 - (1,85 - f_c) \frac{\bar{\xi} - \bar{\xi}_{\max}}{1 - \bar{\xi}_{\max}}, \quad (5.2.2-9)$$

где $f_c = 2(1 - 4d_x/L_1)$;

$$\bar{\xi} = \xi/d_x;$$

$$\bar{\xi}_{\max} = \xi_{\max}/d_x.$$

Для днища значения f_p соответствуют удвоенным значениям этого параметра при определении амплитуд волновых давлений — см. выражения (5.2.2-6) и (5.2.2-7).

5.3. РАСЧЕТНЫЕ АМПЛИТУДЫ КАЧКИ И УСКОРЕНИЙ

5.3.1 Расчетные амплитуды килевой качки ($i=1$ — максимальные значения и $i=2$ — эксплуатационные), рад, определяются по формулам:

$$\psi_i = h_i \alpha_{\psi}, \quad (5.3.1-1)$$

где h_i — соответствующие расчетные высоты волн;

$$\alpha_{\psi} = [1,0 + 0,15v_0/\sqrt{L}]Lc_b.$$

При $c_b \leq 0,65$ принимается $c_b = 0,65$.

При $L \leq 100$ м принимается $L = L_1 = 100(L/100)^{0,5}$.

Расчетные углы бортовой качки, рад, определяются по формуле

$$\Theta_i = h_i \frac{3,25(100/L)^{1/3}}{B+50} (1,40 - 0,15B/d_{\otimes}) [1 - 4,5(c_b - 0,7)^2]. \quad (5.3.1-2)$$

При $L \leq 100$ м принимается $L = 100$ м. $B/d \leq 5$.

5.3.2 Вертикальные ускорения ($i=1$ — максимальные значения, $i=2$ — эксплуатационные), м/с^2 , определяются по формулам:

$$a_{zi} = gh_i \frac{2(1 + 0,2v_0/\sqrt{L})}{Lc_b^{0,5}} \sqrt{1 + k_z}; \quad (5.3.2-1)$$

$$k_z = \frac{7(1 + 0,15v_0/\sqrt{L})}{c_b} (x/L - 0,42)^2,$$

где x — расстояние от кормового перпендикуляра, м.

При $c_b \leq 0,65$ принимается $c_b = 0,65$.

Продольные ускорения, м/с^2 , определяются по формуле

$$a_{xi} = gh_i \frac{0,8c_b^{0,5}(1 + 0,2v_0/\sqrt{L})}{L}. \quad (5.3.2-2)$$

При $c_b \leq 0,65$ принимается $c_b = 0,65$.

Поперечные ускорения, м/с^2 , определяются по формуле

$$a_y = gh_i \frac{1,3(1 + 0,2v_0/\sqrt{L})}{Lc_b^{0,5}} \sqrt{1 + 3,5(x/L - 0,42)^2}. \quad (5.3.2-3)$$

5.4. РАСЧЕТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ НА СТЕНКИ ОТСЕКОВ, ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКИМ ГРУЗОМ ИЛИ БАЛЛАСТОМ

5.4.1 Расчетные давления p_r на конструкции, ограничивающие отсеки для жидких грузов или водяного балласта (кроме сжиженных газов и грузов, закачиваемых в трюм под давлением), определяются в зависимости от относительных размеров отсеков, степени их заполнения и высоты воздушной трубки. При этом под отсеком понимается танк или его часть, заключенная между эффективными переборками. Эффективными переборками считаются как проницаемые, так и отбойные переборки с общей площадью вырезов не более 10% от общей площади переборок.

5.4.2 Если длина отсека $l \leq 0,15L$ и максимальная его ширина $b \leq 0,6B$ (l и b измеряются на уровне середины высоты отсека), расчетные давления p_r вычисляются для случая их полного заполнения по формулам (5.4.3-1) и (5.4.3-2). Если габаритные размеры отсеков превышают указанные ограничения, дополнительно должен производиться расчет для случаев неполного заполнения отсеков, для чего используется специальная методика.

5.4.3 Наибольшие (экстремальные) давления, действующие на стенки отсека, полностью заполненного жидким грузом или балластом, кПа , равны:

для условий плавания на встречном волнении

$$p_{1, \max}^B = \rho_r g (1 + k_p \frac{a_{z1} + a_{x1}}{g}) [z_j^0 + k_p \sqrt{(x_j^0 + 0,5l)^2 \psi_1^2 + 1/4(y_j^0 + 0,5b)^2 \Theta_1^2}]; \quad (5.4.3-1)$$

при волнении с борта

$$p_{1, \max}^B = \rho_r g (1 + k_p \frac{a_{y1} + a_{z1}}{2g}) [z_j^0 + k_p \sqrt{1/4(x_j^0 + 0,5l)^2 \psi_1^2 + (y_j^0 + 0,5b)^2 \Theta_1^2}]; \quad (5.4.3-2)$$

где ρ_r — массовая плотность груза или балласта в отсеке, т/м^3 ;

a_{x1} , a_{y1} , a_{z1} — см. 5.3.2;

$k_p = 0,80$ — для переборок с двусторонней нагрузкой со стороны смежных отсеков;

$k_p = 1$ — для концевых и внутренних переборок, испытывающих одностороннее нагружение;

x_j^0 — отстояние точки приложения нагрузки от поперечной вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести объема отсека в положении равновесия, м;

y_j^0 — отстояние точки приложения нагрузки от продольной вертикальной плоскости, проходящей через середину расстояния между непроницаемыми продольными переборками (или продольной переборкой и бортом), м;

z_j^0 — отстояние по вертикали точки приложения нагрузки от уровня палубы, ограничивающей отсеки, м. Для балластных цистерн и цистерн пресной воды z_j^0 измеряется по высоте воздушной трубки;
 ψ_1, Θ_1 — максимальные расчетные углы дифферента и крена, определяемые по формулам (5.3.1-1) и (5.3.1-2).

При расчете прочности стенок отсека используются большие из значений $p_{1, \max}^B$ и $p_{1, \max}^6$, получаемых для каждого из рассматриваемых конструктивных элементов по приведенным выше зависимостям.

5.4.4 Размахи эксплуатационных давлений, кПа, определяющих требования к усталостной прочности конструкций, рассчитываются по приведенным ниже формулам.

Для поперечных переборок, разделяющих одинаковые полностью заполненные отсеки,

$$p_{г, R} = 2\rho_{г}g(1 + 0,7a_{x2}/g)\psi_2 l, \quad (5.4.4-1)$$

где a_{x2} — см. (5.3.2-2);

ψ_2 — см. (5.3.1-1);

l — длина отсека, м.

Для концевых поперечных переборок, испытывающих одностороннее действие груза,

$$p_{г, R} = \rho_{г}g\sqrt{(1 + 0,7a_{x2}/g)^2\psi_2^2 l^2 + 4[(a_{x2}/g)^2 + (a_{z2}/g)^2](z_j^0)^2}, \quad (5.4.4-2)$$

где a_{x2}, a_{z2}, z_j^0 — см. 5.3.2.

Для продольных переборок, разделяющих отсеки, заполненные жидким грузом или балластом, размахи эксплуатационных давлений определяются согласно зависимости

$$p_{г, R} = \rho_{г}g\left(1 + \frac{a_{y2} + a_{z2}}{2g}\right)(\rho_0 b_0 + \rho_1 b_1)\Theta, \quad (5.4.4-3)$$

где ρ_0, ρ_1 — массовая плотность жидкого груза (балласта) в центральном и бортовом отсеках, т/м³;

b_0, b_1 — ширина соответствующих отсеков;

$\psi_2, \Theta_2, a_{y2}, a_{z2}$ — см. 5.3.1 — 5.3.2.

Размахи эксплуатационных давлений на стенки отсеков, являющихся бортовыми перекрытиями и воспринимающими, наряду с давлениями жидкого груза (балласта), также наружные волновые давления, определяются согласно зависимости

$$p_{г}^{\Sigma} = \sqrt{p_6^2 + p_w^2}, \quad (5.4.4-4)$$

где $p_6 = \rho_{г}g\sqrt{(b_1\Theta_2)^2 + ((2a_{z2}/g)z_j^0)^2}$,

p_w — см. 5.2.2.

5.4.5 Расчетные статические давления груза (балласта) на стенки отсеков определяются по формуле

$$p_{ст} = \rho_{г(б)} g z_j, \quad (5.4.5)$$

где $\rho_{г(б)}$ — массовая плотность груза (балласта), т/м³;

z_j — отстояние по вертикали рассматриваемой точки до верха отсека, м.

5.5. РАСЧЕТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ НА КОНСТРУКЦИИ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ТРЮМА ДЛЯ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА

Максимальные расчетные давления на второе дно или палубу твиндека, кПа, определяются по формуле

$$p_{г, \max} = \rho_{г} g h_r (1 + a_{z1}/g), \quad (5.5-1)$$

где h_r — высота укладки груза, м;

a_{z1} — см. условие (5.3.2-1).

Размахи давлений на эти конструкции определяются по формуле

$$p_{г, R} = 2\rho_{г} h_r a_{z2}, \quad (5.5-2)$$

где a_{z2} — см. условие (5.3.2-1).

Максимальные внутренние расчетные давления на стенки и переборки, ограничивающие трюм для навалочного груза, кПа, определяются по формуле

$$p_{г, \max} = \rho_{г} g k_r (1 + k_p a_{z1}/g) z_j, \quad (5.5-3)$$

где $k_r = \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{1}{2} \varphi_{в.г}) + \cos^2 \alpha$;

α — угол наклона стенки к горизонту;

$\varphi_{в.г}$ — угол внутреннего трения навалочного груза, град;

a_{z1} — см. условие (5.3.2-1);

z_j — отстояние по вертикали точки приложения нагрузки от уровня свободной поверхности груза, м;

k_p — см. 5.4.3.

Размахи внутренних давлений определяются по формуле

$$p_{г, R} = 2\rho_{г} k_r a_{z2} z_j. \quad (5.5-4)$$

5.6. МАКСИМАЛЬНЫЕ ДАВЛЕНИЯ НА ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ АВАРИЙНЫЕ ПЕРЕБОРКИ

Максимальные давления на водонепроницаемые аварийные переборки определяются следующим образом:

для пластин обшивки переборок — равномерно распределенное по поверхности пластин давление, соответствующее гидростатическому напору, измеряемому от нижней кромки рассматриваемого пояса обшивки до уровня над палубой переборок, отстоящего от нее на величину

$$\Delta_a = \frac{1}{2} b_0 \theta_a, \quad (5.6)$$

где b_0 — ширина отсека, ограничиваемого рассматриваемой переборкой, м;

θ_a — возможный угол аварийного крена, определяемый из расчетов непотопляемости судна, рад;

для вертикальных связей — давление, распределенное по треугольнику с максимальной величиной на уровне дна отсека, равной гидростатическому напору до уровня, отстоящего от палубы переборок на величину Δ_a ;

для горизонтальных связей — равномерно распределенное давление, соответствующее гидростатическому напору, измеряемому от уровня расположения связей до указанного уровня.

5.7. СУММАРНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ДНИЩЕВЫХ И БОРТОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ВОЛНОВЫХ ДАВЛЕНИЙ И ГРУЗА

Расчеты прочности днищевых и бортовых перекрытий производятся с учетом суммарного воздействия на них внешних волновых давлений и внутреннего противодействия грузов.

Максимальные суммарные давления для днищевых перекрытий (средние по площади перекрытия) определяются по формуле

$$p_d^{\Sigma} = |p_{ст}^B - p_{ст}^r \pm \sqrt{(p_{г, \max})^2 + (p_{в, \max})^2 + (p_{г, \max})(p_{б, \max})}|, \quad (5.7-1)^1$$

где $p_{ст}^B$ — внешние гидростатические давления, определяемые согласно выражению (5.2.1);

$p_{ст}^r$ — внутреннее статическое противодействие груза, кПа, определяемое согласно зависимости

$$p_{ст}^r = \rho_r g h_r; \quad (5.7-2)$$

¹ Знаки, обозначающие суммирование или вычитание, в выражениях (5.7-1) и (5.7-4) принимаются следующим образом: верхние — при расчетах, соответствующих положению судна на подошве расчетной волны, а нижние — при положении судна на вершине расчетной волны.

h_{Γ} — высота отсека при жидком грузе или высота укладки груза при насыпном грузе, м;
 $p_{\Gamma, \max}$ — максимальная величина амплитуды давлений сил инерции от груза, кПа, определяемая по формуле

$$p_{\Gamma, \max} = \rho_{\Gamma} a_{z1}^{\max} h_{\Gamma}, \quad (5.7-3)$$

где $a_{z1}^{\max}$ — максимальная амплитуда расчетных вертикальных ускорений, определяемая согласно (5.3.2-1) применительно к центру площади перекрытия;

$p_{в, \max} = p_w$ — максимальная величина переменных волновых давлений на днище, определяемая согласно (5.2.2-2).

Расчеты производятся при осадке по летнюю грузовую ватерлинию с учетом противодействия груза и при балластной осадке без учета этого противодействия.

При расчетах по МКЭ, когда необходимо задавать в расчетной схеме составляющие давлений, действующих на внутреннюю и наружную поверхности перекрытия, их величины определяются по формулам:

$$p_{\Gamma}^{\Sigma} = p_{\Gamma}^{\text{CT}} \pm k'_{\Gamma в} p_{\Gamma, \max}; \quad (5.7-4)$$

$$p_{в}^{\Sigma} = -p_{в}^{\text{CT}} \mp k'_{\Gamma в} p_{в, \max};$$

где p_{Γ}^{Σ} — суммарные расчетные давления, действующие на внутреннюю поверхность перекрытия (от груза);

$p_{в}^{\Sigma}$ — суммарные расчетные давления, действующие на наружную поверхность перекрытия (от волнения).

$$k'_{\Gamma в} = \frac{\sqrt{(p_{\Gamma, \max})^2 + (p_{в, \max})^2 + (p_{\Gamma, \max})(p_{в, \max})}}{p_{\Gamma, \max} + p_{в, \max}}. \quad (5.7-5)$$

Размахи суммарных давлений на днище определяются согласно выражению (5.7-1), в котором полагается $p_b^{\text{CT}} = p_{\Gamma}^{\text{CT}} = 0$, а максимальные значения компонентов давлений в подкоренной части этого выражения заменяются размахами эксплуатационных давлений, определяемыми по тем же формулам, на которые даются ссылки в пояснениях к выражению (5.7-1).

Максимальные расчетные давления и нагрузки на бортовые перекрытия определяются путем суммирования гидростатической и волновой составляющих внешних давлений согласно зависимостям (5.2.1), (5.2.2-1) и (5.2.2-2).

Внутреннее противодействие груза не учитывается.

Размахи эксплуатационных давлений определяются с учетом противодействия жидкого или сыпучего груза (при его наличии) согласно выражению (5.4.4-4).

6. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

6.1. СОСТАВ КРИТЕРИЕВ

Местная прочность проверяется по следующим критериям:

а) по критерию предельной прочности конструкций на действие вероятного максимально возможного неблагоприятного суммарного нагружения при действии на корпус судна переменных и постоянных (статических) местных и общих нагрузок;

б) по критерию эксплуатационной усталостной прочности конструктивных элементов корпуса в условиях совместного действия местных и общих переменных эксплуатационных нагрузок, вызывающих переменные циклически изменяющиеся во времени напряжения в конструктивных узлах, в которых принципиально возможны усталостные повреждения.

Расчеты по обоим указанным критериям выполняются с учетом влияния коррозионного износа связей в процессе эксплуатации конструкций, порядок осуществления которых устанавливается в соответствии с требованиями Правил Регистра. Рекомендации по учету износа приведены в гл. 4.3, а также в сноске к 6.2.2.1.

6.2. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ

6.2.1 Общие понятия и порядок нормирования результатов расчета.

Под нарушением предельной прочности конструкций понимается такой результат нагружения, при котором происходит появление остаточных деформаций (нарушение формы) конструкции, препятствующих ее нормальной эксплуатации, которые могут привести к необходимости ее ремонтного восстановления.

Расчеты прочности согласно этому критерию для произвольной конструкции сводятся к проверке выполнения условия

$$|Q_{\text{пр}}|/|Q_{\Sigma\text{max}}| \geq K_3, \quad (6.2.1-1)$$

где $|Q_{\text{пр}}|$ — предельная прочность (нагрузка) рассматриваемой конструкции при наиболее неблагоприятном суммарном воздействии наибольших местных и общих нагрузок;

$|Q_{\Sigma\text{max}}|$ — наибольшая возможная в процессе эксплуатации суммарная величина переменных и постоянных составляющих местных нагрузок, действующих непосредственно на конструкцию, которые могут привести к нарушению ее предельной прочности;

K_3 — коэффициент запаса, значения которого приведены в табл. 1 приложения 2.

Определение предельной прочности стержневых систем осуществляется с помощью специальных методик и компьютерных программ, согласованных с Регистром, либо в соответствии с 6.2.2.

Расчетные схемы оценки предельной прочности балочных элементов перекрытий, как и перекрытий в целом, основываются на допущениях теории предельного равновесия, предполагающей жестко-пластическую диаграмму деформирования материала конструкций с возможным образованием изгибных и сдвиговых шарниров в сечениях балок. Анализ возможных форм разрушения балочных элементов и определение их несущей способности производятся с учетом статически определимых продольных усилий от общего нагружения корпуса.

При определении предельной нагрузки балок основного набора перекрытий (при обеспечении достаточной прочности перекрытий в целом согласно условию (6.2.1-1)) они могут рассматриваться опертыми на усиленные балки перекрытий как на жесткие опоры и жестко заделанными по этим опорным сечениям. К такой же схеме расчета могут сводиться изолированные балки набора бортовых перекрытий, набранных по поперечной системе.

При расчете предельной прочности перекрытий могут также использоваться методики и компьютерные программы расчета, основанные на применении метода конечных элементов с учетом физической нелинейности деформирования материала.

При этом для новых конструкций в качестве предельной, если нет других указаний, может быть принята нагрузка, вызывающая остаточные прогибы конструкций, равные половине от предельно допускаемых нормативами дефектации корпусных конструкций Регистра. При проверке предельной прочности изношенных конструкций на стадии их эксплуатации (см. разд. 8) этот норматив может быть увеличен до полных прогибов, допускаемых нормативами Регистра по дефектации.

Предельная прочность листовых элементов конструкций (обшивки и настилов) может рассматриваться с учетом влияния на возникновение распорных цепных усилий в плоскости листов (которые повышают несущую способность этих элементов), снижающих остаточные деформации.

6.2.2 Определение предельной нагрузки для основных простейших конструктивных элементов и их расчетные параметры.

6.2.2.1 Однопролетная балка, защемленная на опорах, на которую действуют равномерная поперечная нагрузка и продольная (осевая сила), изображена на рис. 6.2.2.1-1.

Предельная нагрузка такой балки, кН, определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1,6 W_{\text{п}}' \sigma_{\text{т}}^{\text{н}}}{l k_l^2} \bar{Q}, \quad (6.2.2.1-1)$$

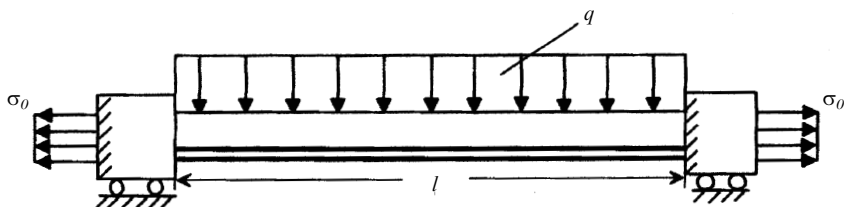


Рис. 6.2.2.1-1

Однопролетная балка, на которую действуют равномерная поперечная нагрузка и продольная (осевая) сила

где W''_n — предельный момент сопротивления поперечного сечения профиля балки с учетом присоединенного пояска обшивки, см^3 ;
 l — расстояние между опорными сечениями балки (фактическая длина ее пролета), см;
 $k_l = l_p/l$ — коэффициент, учитывающий сокращение расчетного пролета балки за счет опорных элементов книц в соответствии с показанным на рис. 6.2.2.1-2.

Величины указанных компонентов выражения (6.2.2.1-1) определяются следующим образом.

Предельный момент сопротивления:
 длякатаных профилей

$$W_n = F(y_{ц} + 0,5\delta_0)k_{F_0}, \quad (6.2.2.1-2)$$

для сварных профилей

$$W_n = [h + 0,5(\delta_n + \delta_0)](f_n + 0,5f_{ct})k_{F_0}, \quad (6.2.2.1-3)$$

$$\text{где } k_{F_0} = \begin{cases} 1 & \text{при } F_0 \geq F \\ 1 - \frac{((F - F_0)/f_{ct})^2}{4(0,5 + f_n/f_{ct})} & \text{при } F_0 < F \end{cases};$$

F — площадь сечения профиля балки, см^2 ;

F_0 — площадь присоединенного пояска, см^2 , определяемая по формуле

$F_0 = \delta_0 c$;

δ_0 — толщина присоединенного пояска обшивки, см;

c — ширина присоединенного пояска, равная $l/6$ или a — расстоянию между балками, в зависимости от того, что меньше, см;

$y_{ц}$ — расстояние от центра тяжести сечения катаного профиля до кромки его присоединения к обшивке, см;

h — высота стенки профиля, см (см. рис. 6.2.2.1-3);

δ_n — толщина свободного пояска сварного профиля, см;

¹ Здесь и в дальнейшем характеристики прочности конструктивных элементов предполагаются уменьшенными на величину проектного запаса на износ, который считается аналогичным принятому в части II «Корпус» Правил, что отражается в приведенном обозначении предельного момента сопротивления штрихом.

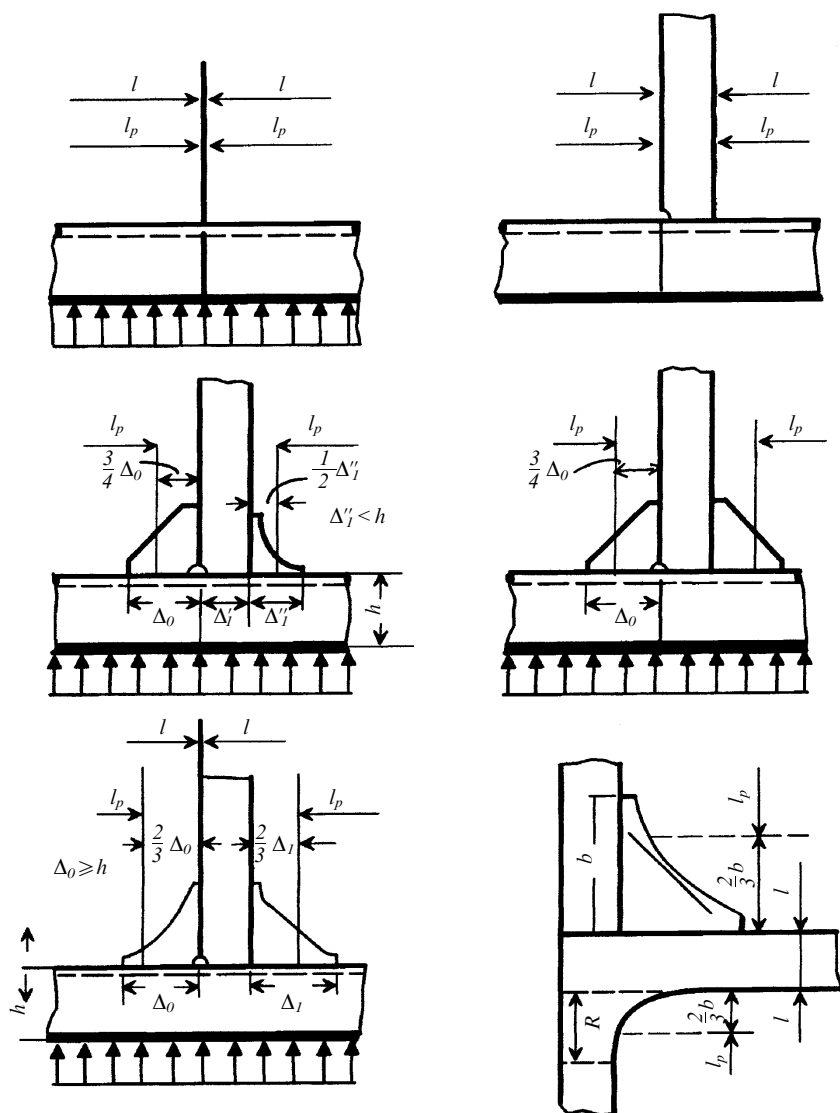


Рис. 6.2.2.1-2
Фактическая (l) и расчетная (l_p) длины (пролеты) балки

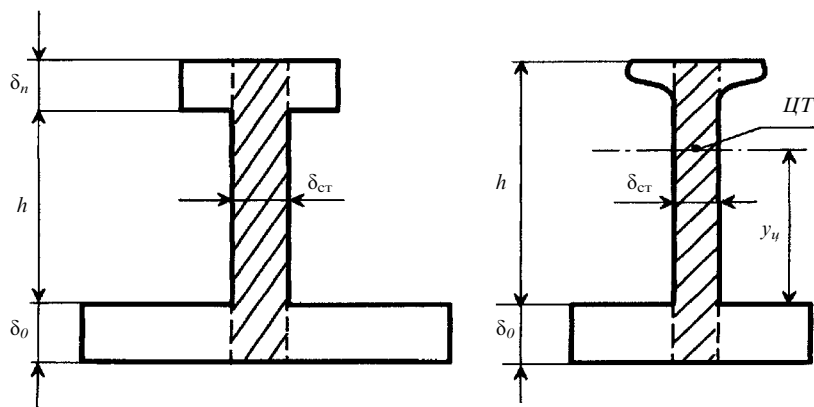


Рис. 6.2.2.1-3

— эффективная площадь стенки

f_n — площадь свободного пояса, см^2 , для катаного профиля, определяемая по формуле $f_n = F - f_{ct}$;
 $f_{ct} = (h + \delta_o)\delta_{ct}$ — площадь стенки, см^2 ;
 δ_{ct} — толщина стенки, см .

Коэффициент нагрузки определяется по формуле

$$\bar{Q} = \frac{1 - \bar{\sigma}_0^2}{1 + 0,4[(1 - \bar{\sigma}_0^2)\zeta]^2} \quad (6.2.2.1-4)$$

Здесь $\bar{\sigma}_0 = (|\sigma_1 + \sigma_2|)/\sigma_t^H$ — относительная величина расчетных продольных напряжений, действующих на балку;

σ_1 — нормальные напряжения от общего изгиба корпуса на уровне оси балки, обусловленные действием суммарного расчетного изгибающего момента $M_{\Sigma j}$ (см. (3.2-3)), равного сумме изгибающих моментов в знаменателе выражения (3.2-1);

σ_2 — нормальные напряжения на уровне оси балки от изгиба перекрытия, МПа, под действием суммарной поперечной нагрузки $Q_{\Sigma \max}$ (см. 6.2.2.1-1)¹;

$$\zeta = \frac{4\sqrt{3}W_n}{f_{ct}lk_l} \approx \frac{7h}{l} \cdot \frac{0,5 + f_n/f_{ct}}{k_l} \quad (6.2.2.1-5)$$

$$\text{при } \zeta \geq 1 \quad \bar{Q} = \frac{1 - \bar{\sigma}_0^2}{\{1 + 0,4[(1 - \bar{\sigma}_0^2)]^2\}\zeta}.$$

¹ Суммирование напряжений σ_1 и σ_2 в выражении для $\bar{\sigma}_0$ производится с учетом обычного правила знаков: «+» — растяжение, «-» — сжатие.

Расчетные нагрузки, кН, соответствующие рассмотренному виду нагружения и определения $Q_{пр}$, в условии проверки прочности (6.2.1-1) вычисляются по формуле

$$Q = qal \cdot 10^{-4}, \quad (6.2.2.1-6)$$

где q — интенсивность поперечной нагрузки (расчетное давление p), кПа.

Предельные моменты сопротивления балок набора с учетом поправок на коррозионный износ W'_n определяются, исходя из толщин элементов профилей балок, уменьшенных на запасы, устанавливаемые в соответствии с указанным в Правилах Регистра. Величина W'_n может находиться по формуле

$$W'_n = \frac{W_n}{1 + \alpha \Delta s}, \quad (6.2.2.1-7)$$

где W_n — предельный момент сопротивления при проектных толщинах балки, определяемый по формулам (6.2.2.1-2) и (6.2.2.1-3);

α — коэффициент, равный:

для балок из профилей проката

$$\alpha = 0,07/\sqrt[3]{W_n},$$

для тавровых сварных балок

$$\alpha = 1,1/\delta_n,$$

δ_n — толщина свободного пояса балки, мм;

для балок полосового профиля

$$\alpha = 1,1/\delta_{ст},$$

$\delta_{ст}$ — толщина полосового профиля, мм;

Δs — расчетная надбавка на износ стенок (для профилей проката и полосовых профилей) и свободных поясков (для тавровых профилей) в соответствии с 1.1.5 части II «Корпус» Правил, мм.

6.2.2.2 Опертые на набор и заземленные на опорных кромках по условию симметрии нагружения прямоугольные пластины, участвующие в восприятии продольных усилий от общего изгиба корпуса, рассчитываются по следующим формулам.

Предельные интенсивности давлений на пластины указанного типа, кПа

$$q_{пр} = 4\sigma_T^H (s'/a)^2 [1 + n \left(\frac{a}{100s'} \right)^2] [1 + 2(a/l)^2] (1 - \overline{\sigma}_1^2)^m \cdot 10^3, \quad (6.2.2.2-1)$$

где a — меньшая сторона опорного контура пластины, см;

l — большая сторона, см;

s' — толщина пластины без проектного запаса на износ, см;

$n = 0$ — при поперечной системе набора перекрытия;

$n = 0,6$ — при продольной системе набора;

$\overline{\sigma}_1 = \sigma_1/\sigma_T^H$ — относительная величина расчетных продольных напряжений в связях опорного контура пластины, ориентированных вдоль корпуса судна, вызванных их участием в общем изгибе корпуса;

при поперечной системе набора $m = 2/3$ — при растяжении, $m = 1,5$ — при сжатии;

при продольной системе набора $m = 0,5$ — в обоих указанных случаях.

Для относительно тонких пластин при $s'/a < 1/100$ вместо (6.2.2.2-1) следует использовать выражение

$$q_{\text{пр}} = 0,2\sigma_T^H(s'/a)^{1,25}[1 + 2(a/l)^2](1 - \bar{\sigma}_1^2)^m \cdot 10^3. \quad (6.2.2.2-2)$$

Для обшивки поперечных переборок $q_{\text{пр}}$ определяется по формулам (6.2.2.2-1) или (6.2.2.2-2) при $\bar{\sigma}_1 = 0$.

Предельное давление граней гофров поперечных гофрированных переборок, кПа, определяется по формуле

$$q_{\text{пр}} = 4\sigma_T^H(s'/a)^2[1 + 2(a/l)^2] \cdot 10^3, \quad (6.2.2.2-3)$$

где a — поперечный размер граней гофров, определяемый согласно рис. 6.2.2.2.

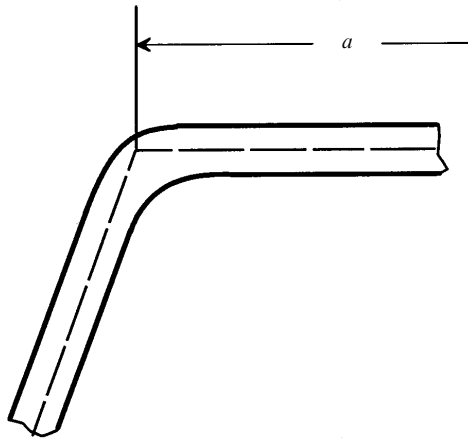


Рис. 6.2.2.2
Определение поперечного размера граней гофра:
 a — расчетный поперечный размер

Для граней гофров продольных гофрированных переборок с горизонтальным расположением гофр может быть использовано выражение (6.2.2.2-1) при $n = 0$.

6.2.3 Общий порядок расчета местной предельной прочности перекрытий.

Местная предельная прочность перекрытий, участвующих в восприятии продольных усилий корпуса и их элементов, проверяется с учетом влияния этих усилий на несущую способность конструкций. При этом учитываются также продольные усилия и напряжения, возникающие в конструктивных элементах перекрытий при их нагружении местными

нагрузками. Величины продольных (осевых) напряжений, возникающих в конструктивных элементах корпуса из-за их участия в общем изгибе корпуса (σ_1) и изгибе перекрытий (σ_2), определяются расчетами общего и местного нагружения корпуса при величинах наибольших расчетных нагрузок, используемых при проверке их предельной прочности (без увеличения на коэффициенты запаса прочности).

При расчете напряжений σ_1 используется расчетная схема эквивалентного бруса при величинах моментов сопротивления корпуса W'_0 без проектного запаса на износ (см. формулу (4.3-1)) с учетом редуцирования теряющих устойчивость гибких связей при нагружении корпуса расчетным изгибающим моментом M_{pj} (см. формулу (3.2-3)). Значения σ_1 при этом определяются в соответствии с зависимостью

$$\sigma_1 = (M_\Sigma / W'_{0j})(z_0 / R_j) \cdot 10^3, \text{ МПа}, \quad (6.2.3-1)$$

где M_Σ — сумма изгибающих моментов в знаменателе выражения (3.2-1), кН·м;

z_0 — отстояние рассчитываемой продольной связи от нейтральной оси корпуса при рассматриваемом знаке его нагружения, м;

R_j — отстояние нейтральной оси корпуса от крайней по высоте продольной связи корпуса, относительно которой определяется величина W'_{0j} в формуле (4.3-1) для W'_{0j} ;

W'_0 — см. примечание к выражению (3.2-2).

Знак величины σ_1 принимается в соответствии с направлением нагружения рассматриваемой продольной связи: «+» — растяжение, «-» — сжатие.

При алгебраическом суммировании напряжений σ_1 и σ_2 для учета влияния этих составляющих напряжений на предельную прочность продольных балок основного набора перекрытий значения σ_2 принимаются равными

$$\sigma_2 \leq 0,70\sigma_2^{\max}, \quad (6.2.3-2)$$

где $\sigma_2^{\max}$ — максимальная величина σ_2 в рассматриваемом поперечном сечении перекрытия на уровне нейтральных осей рассматриваемых продольных балок.

Расчет пластин обшивки перекрытий производится с учетом только напряжений от общего изгиба корпуса.

При переменных величинах фактических давлений вдоль длинной стороны опорного контура пластины за расчетные принимаются максимальные давления в сечении, параллельном короткой стороне контура пластины и расположенном на расстоянии от наиболее нагруженной поперечной кромки, равном ширине пластины a или в центре пластины при соотношении $l/a \leq 2$.

Значения коэффициентов запаса при расчетах местной предельной прочности корпусных конструкций приведены в табл. 1 приложения 2.

6.3. УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ

6.3.1 Основное назначение и содержание расчетов.

6.3.1.1 Основной задачей расчетов усталостной прочности корпусных конструкций является проверка оправданности выбора размеров и оформления основных конструктивных узлов, подвергающихся в условиях эксплуатации судов на волнении переменному нагружению. Описываемая методология и нормативы расчета усталостной прочности распространяются на продольные и поперечные связи судового корпуса, параметры переменного эксплуатационного нагружения которых могут быть установлены достаточно определенно с помощью приведенных выше зависимостей и могут приводить к усталостным повреждениям.

6.3.1.2 Условие достаточной усталостной прочности конструктивного элемента корпуса судна, воспринимающего в общем случае усилия от действующих на корпус общих и местных нагрузок с учетом различных режимов эксплуатации судна, определяются зависимостью

$$\sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \bar{t}_i [(\sigma_p^\Sigma)_i / (\sigma_F(\sigma_c^\Sigma)_i)]^4} \leq k_d, \quad (6.3.1.2-1)$$

где $(\sigma_p^\Sigma)_i$ — суммарная расчетная величина размахов (удвоенных амплитуд) переменных нормальных напряжений в проверяемой точке рассматриваемого элемента корпусной конструкции, в которой может возникнуть усталостное повреждение в i -м режиме эксплуатации;

k_d — коэффициент допускаемых напряжений;

$\sigma_F(\sigma_c^\Sigma)_i$ — предел усталостной прочности конструктивного узла в проверяемой расчетной («горячей») точке, определяемый с учетом влияния суммарной величины действующих средних напряжений $(\sigma_c^\Sigma)_i$ в i -м режиме эксплуатации от общих и местных нагрузок;

$\bar{t}_i$ — относительная доля времени эксплуатации судна в i -м режиме по отношению к общему сроку эксплуатации судна;

n — число учитываемых расчетных режимов.

Проверка прочности в соответствии с условием (6.3.1.2-1) может быть сведена к рассмотрению двух наиболее характерных режимов эксплуатации («судно в грузу» и «судно в балласте»).

При этом относительное время эксплуатации судов в этих режимах может быть принято в соответствии с данными, приведенными в гл. 3.3.

Рекомендуемые упрощенные варианты условий проверки усталостной прочности при учете только основных режимов эксплуатации судна приведены в 6.3.1.10.

Величина суммарных размахов переменных напряжений в выражении (6.3.1.2-1) для каждого из режимов нагружения в общем случае при суммировании нескольких компонентов напряжений в рассматриваемых точках балок продольного набора перекрытий в сечениях у их рассматриваемых узлов (см. рис. 6.3.1.2) определяется согласно выражению

$$\sigma_p^\Sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^3 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^3 \rho_{jv} \sigma_j \sigma_v} \quad \text{при } j \neq v, \quad (6.3.1.2-2)^1$$

где σ_j — составляющие размахов переменных напряжений: при $j=1$ — от общего продольного изгиба корпуса, при $j=2$ — от изгиба перекрытий и при $j=3$ — от собственного изгиба рассматриваемой продольной балки;

$\rho_{jv} \approx \pm 0,5$ — коэффициенты корреляции рассматриваемых составляющих напряжений, знак перед которыми для днищевых перекрытий принимается в соответствии с указанным на рис. 6.3.1.2.

В крайних шпанцах перекрытий двойного дна у поперечных переборок (см. узлы I, III, V, и VI на рис. 6.3.1.2) суммирование в выражении (6.3.1.2-2) должно дополняться 4-ой компонентой напряжений σ_4 в продольной балке от деформаций вертикального смещения крайних флоров у переборок относительно этих переборок (см. рис. 6.3.1.2), где также приведены значения и знаки соответствующих коэффициентов корреляции.

Для балок палубных перекрытий все знаки коэффициентов корреляции положительны. Для конструкций борта, расположенных ниже нейтральной оси корпуса, значения и знаки коэффициентов корреляции соответствуют указанным на рис. 6.3.1.2 для двойного дна. Для бортовых конструкций, расположенных выше нейтральной оси, значения указанных коэффициентов корреляции полагаются равными нулю.

6.3.1.3 Величина коэффициента допускаемых напряжений k_d в условии (6.3.1.2-1) принимается равной

$k_d = 1,40$ — для продольных связей корпуса,

$k_d = 1,50$ — для поперечных связей.

6.3.1.4 Величина $\sigma_F(\sigma_\Sigma)_i$ в выражении (6.3.1.2-1) определяется по формуле

$$\sigma_F(\sigma_\Sigma)_i = \sigma_F^0 k_c(\sigma_\Sigma)_i, \quad (6.3.1.4-1)$$

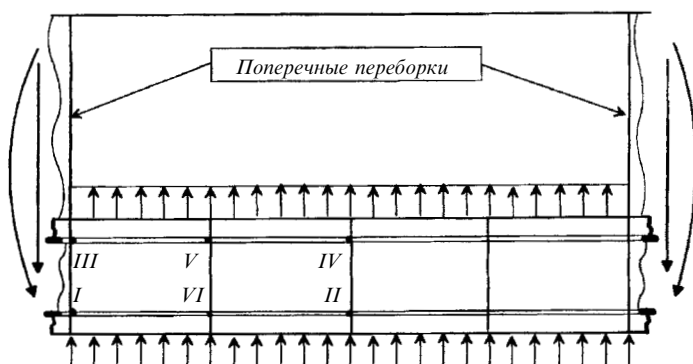
где σ_F^0 — предел усталостной прочности рассматриваемого конструктивного элемента (узла) в рассматриваемом поперечном сечении, определяемый при числе $N = 2 \cdot 10^6$ «отнулевых» циклов нагружения (минимальные нагрузки и напряжения цикла $Q_{\min}$ и $\sigma_{\min}$ близки к нулю);

$k_c(\sigma_\Sigma)_i$ — коэффициент влияния суммарных величин средних нормальных напряжений, равный

$$k_c(\sigma_\Sigma)_i = 1,1[1 - ((\sigma_\Sigma)_i/650)(235/\sigma_T^H)^{2/3}]; \quad (6.3.1.4-2)$$

$(\sigma_\Sigma)_i$ — суммарная величина средних (практически постоянных во времени) нормальных напряжений в рассматриваемом элементе конструкции для рассматриваемого i -го грузового состояния судна (см. 6.3.2).

¹ Расчет указанных и приводимых ниже параметров напряженного состояния конструкций осуществляется при толщинах элементов конструкций за вычетом проектного запаса на износ, определяемого в соответствии с действующими Правилами Регистра.



Знаки коэффициентов корреляции ρ_{ij} в точках суммирования напряжений (точки соответствуют границам узлов, где напряжения суммируются):

I					II					III				
$j \backslash i$	1	2	3	4	$j \backslash i$	1	2	3		$j \backslash i$	1	2	3	4
1	X	-	+	+	1	X	+	+		1	X	+	-	-
2	-	X	-	-	2	+	X	+		2	+	X	-	-
3	+	-	X	+	3	+	+	X		3	-	-	X	+
4	+	-	+	X						4	-	-	+	X

IV				V					VI				
$j \backslash i$	1	2	3	$j \backslash i$	1	2	3	4	$j \backslash i$	1	2	3	4
1	X	-	-	1	X	-	-	+	1	X	-	+	-
2	-	X	+	2	-	X	-	+	2	-	X	-	+
3	-	+	X	3	+	-	X	-	3	+	-	X	-
				4	+	+	-	X	4	-	+	-	X

Рис. 6.3.1.2

Статистическое суммирование составляющих напряжений в днищевом продольном наборе, определяемое по формуле

$$(\sigma \Sigma)_n = \sqrt{\sum_{i=1}^m ((\sigma_i^2)_n) + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\rho_{ij})_n (\sigma_i)_n (\sigma_j)_n}.$$

Здесь $(\sigma_1)_n$ — напряжения от общего изгиба корпуса в точке n ($n = I, II, III, IV, V, VI$);

$(\sigma_2)_n$ — напряжения от изгиба перекрытия в точке n ;

$(\sigma_3)_n$ — напряжения от изгиба продольного ребра между флорами в точке n ;

$(\sigma_4)_n$ — напряжения в крайних шпациях от смещения крайних флоров относительно поперечных переборок;

$(\rho_{ij})_n \approx \pm 0,50$ — коэффициенты корреляции;

I, II, III, IV, V, VI — номера, соответствующие номерам расчетных точек, показанных на схеме перекрытия;

$m = 4$ — в крайних по длине шпациях (узлы типов I, III, V, VI) и $m = 3$ — в средних по длине шпациях (узлы типов II, IV)

6.3.1.5 Значения σ_F^0 могут определяться следующими способами:
по табл. 2 приложения 2 для типовых узлов судового корпуса;
на основе результатов испытаний узлов, порядок обработки и интерпретации которых указывается в приложении 3;

путем использования результатов расчетного анализа напряженного состояния конструкции в районе рассматриваемой «горячей точки» при виде нагружения конструкции, соответствующем переменному эксплуатационному.

При этом может использоваться зависимость

$$\sigma_F^0 = \frac{\sigma_F^*}{k_w k_\sigma} . \quad (6.3.1.5-1)$$

Здесь σ_F^* — предел усталостной прочности стали нормальной прочности в районе «горячей точки», значения которого могут быть приняты в соответствии с данными табл. 3 приложения 2;

k_w — коэффициент концентрации напряжений, создаваемой в расчетной точке прилегающими к ней сварными швами;

k_σ — коэффициент концентрации дополнительных напряжений, вызываемых в этом сечении элементами рассматриваемого конструктивного узла.

$$\text{Величина } k_w \approx 1,4(\gamma/30^\circ)^{0,5}, \quad (6.3.1.5-2)$$

где γ — средняя величина угла наклона плоскости сварного шва к поверхности конструктивного элемента, в плоскости которого действуют расчетные циклические напряжения, град.

При отсутствии данных о величине γ для наиболее типичных геометрических элементов поперечных угловых швов можно полагать

$$k_w \approx 1,5. \quad (6.3.1.5-3)$$

Значения k_σ определяются по результатам расчетов напряженного состояния конструкций в рассматриваемых точках с помощью МКЭ и аппроксимации этих результатов в соответствии со схемой рис. 6.3.1.5 при расчетных условиях нагружения, близких к реальным.

6.3.1.6 Приведенные расчетные рекомендации по нормированию нормальных напряжений могут быть также применены к углам палубных вырезов и другим конструкциям, включающим большие области концентрации напряжений, оцениваемые с помощью расчетных и экспериментальных данных.

При этом должны учитываться суммарный эффект напряженного состояния данных узлов, обусловленный возможной многокомпонентностью действия нагрузок, вызывающих напряжения в узлах, степень корреляции этих нагрузок и уровни концентрации напряжений.

6.3.1.7 При расчете ослабленных вырезами стенок балок поперечного и продольного набора на действие циклически изменяющихся

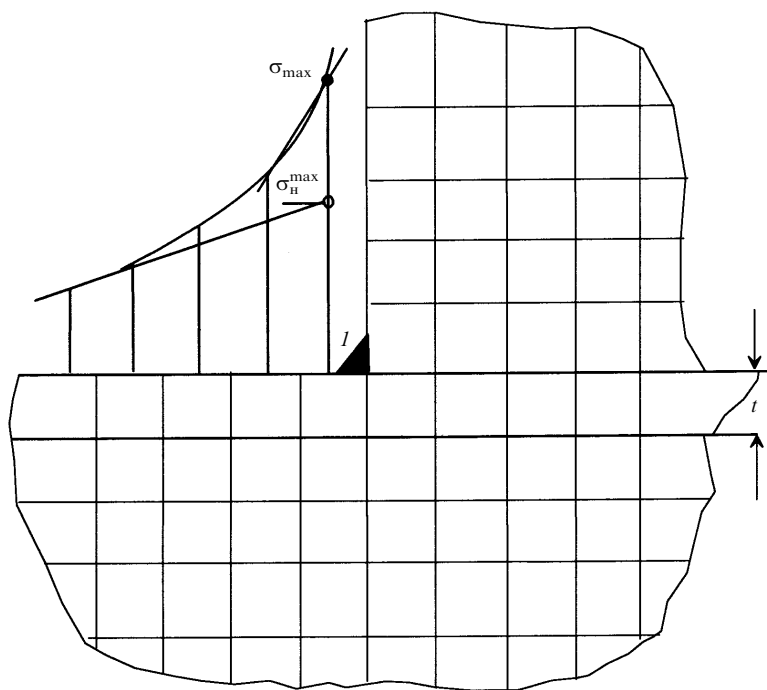


Рис. 6.3.1.5

Схема разбивки на конечные элементы в районе «горячей точки» I и аппроксимация расчетных напряжений при определении коэффициента

$$k_{\sigma} = \sigma_{\max} / \sigma_n^{\max},$$

где σ_n — номинальное напряжение

сдвигающих усилий, обусловленных действием сил инерции от качки судна и волновыми нагрузками, используется аналогичное (6.3.1.2-1) условие прочности по касательным напряжениям

$$\sqrt[4]{\sum_{i=1}^n t_i [(\tau_p^{\Sigma})_i / \tau_{Fi}]^4} \leq k_d, \quad (6.3.1.7-1)$$

где $(\tau_p^{\Sigma})_i$ — суммарная расчетная величина размахов (удвоенных амплитуд) средних по ослабленному вырезом сечению стенки балки касательных напряжений для i -го грузового состояния судна. Они определяются делением соответствующего суммарного (при совместном действии волновых и инерционных нагрузок) размаха перерезывающей силы $(N_p^{\Sigma})_i$ на площадь нетто сечения стенки балки с учетом ее ослабления вырезом. При этом число учитываемых расчетных грузовых состояний может быть сведено к двум в соответствии с пояснениями к расчетному выражению (6.3.1.2-1);

τ_{Fi} — предел усталостной прочности проверяемого конструктивного узла на сдвиг.

При определении $(\tau_p^\Sigma)_i$ в продольных связях корпуса в указанных сечениях должно дополнительно учитываться влияние переменных продольных напряжений от общего изгиба корпуса σ_p^0 . Их величина определяется в соответствии с зависимостью

$$\sigma_p^0 = \frac{M_{B2} v \Phi}{W''_{\Pi}} |z/R - 1| \cdot 10^3, \text{ МПа}, \quad (6.3.1.7-2)$$

где M_{B2} , v , Φ , W''_{Π} — параметры нагружения и прочности корпуса, использованные в условии (3.3-1);

R — отстояние нейтральной оси корпуса от основной плоскости, м;

z — отстояние рассматриваемой продольной связи от основной плоскости корпуса, м.

Учет напряжений σ_p^0 при определении $(\tau_p^\Sigma)_i$ производится путем умножения расчетных значений $(\tau_{pN}^\Sigma)_i$, обусловленных действием перерезывающих усилий $(N_p^\Sigma)_i$, на коэффициент

$$k_\Sigma = \{1 + [v \sigma_p^0 / (\tau_{pN}^\Sigma)_i]^{1,5}\}^{2/3} \quad (6.3.1.7-3)$$

$$\text{при } v = 0,4; \quad (6.3.1.7-4)$$

Для прямоугольных вырезов, длинная сторона контура которых перпендикулярна продольной оси балки, а также для круглых и овальных вырезов, величина параметра

$$v = 0,4[1 - 0,15(l/b - 1)]. \quad (6.3.1.7-5)$$

Здесь l/b — отношение длины к ширине выреза.

Значение k_d в условии (6.3.1.7-1) принимается равным 1,50.

Величина τ_{Fi} в выражении (6.3.1.7-1) определяется по формуле

$$\tau_{Fi} = \tau_{Fi}^0 k_{ci}, \quad (6.3.1.7-6)$$

где τ_{Fi}^0 — предел усталостной прочности рассматриваемого конструктивного элемента (узла) в его поперечном сечении, соответствующий числу «отнулевых» циклов сдвигающих нагружений $N = 2 \cdot 10^6$;

k_{ci} — коэффициент влияния суммарной величины средних (во времени) сдвигающих напряжений цикла нагружений, равный

$$k_{ci} = 1,1[1 - (\tau_c^\Sigma / 370)(235 / \sigma_T^H)^{2/3}]; \quad (6.3.1.7-7)$$

τ_c^Σ — суммарная величина средних сдвигающих напряжений в рассматриваемом ослабленном вырезом поперечном сечении балки при i -м грузовом состоянии судна.

Значения τ_F^0 могут определяться следующими способами:

по данным, приведенным в табл. 4 приложения 2;

на основе результатов непосредственных усталостных испытаний (см. приложение 3);

по результатам расчетного анализа напряженного состояния конструкций при сдвигающем нагружении рассматриваемого расчетного сечения.

При этом может использоваться зависимость

$$\tau_F^0 = \sigma_F^* / k_\sigma^\tau, \quad (6.3.1.7-8)$$

где σ_F^* — предел усталостной прочности обычной углеродистой стали по кромке выреза, расчетные значения которого могут быть приняты в соответствии с данными табл. 3 приложения 2;

k_σ^τ — коэффициент концентрации нормальных напряжений по кромкам вырезов от действия касательных напряжений.

6.3.1.8 Для поперечных связей, нагружаемых однокомпонентными поперечными нагрузками, в условия прочности (6.3.1.2-1) и (6.3.1.7-1) включаются только компоненты напряжений, вызываемых действием этих нагрузок.

6.3.1.9 Расчет угловых тавровых соединений элементов набора (швы соединения с обшивкой, соединения стенок набора с поясками сварных балок) производится в соответствии с общим выражением (6.3.1.7-1) или упрощенным его вариантом с учетом только типовых условий нагружения конструкций при плавании судна в грузу и балласте (см. 6.3.1.10).

При этом значения τ_{Fi} определяются согласно выражению (6.3.1.7-6) при значениях τ_F^0 , указанных в табл. 6.3.1.9.

Расчетные касательные напряжения в швах определяются делением интенсивности касательных усилий, действующих в рассматриваемом продольном сечении, на расчетную толщину шва (см. рис. 6.3.1.9).

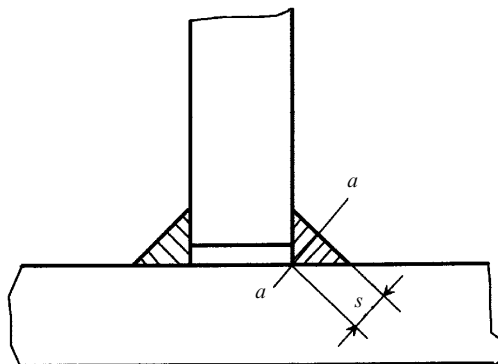


Рис. 6.3.1.9

Расчетная толщина одного из сварных швов s
(суммарная толщина при двустороннем шве $s_1 = 2s$)

Таблица 6.3.1.9

Тип сварки	τ_F^0 , МПа
автоматическая	70
ручная	55
прерывистая	45

Совместное действие в продольных сварных соединениях касательных и нормальных напряжений учитывается увеличением как статических, так и переменных составляющих касательных напряжений пропорционально множителю

$$k_\tau^\sigma = \sqrt{1 + \sigma^2 / 3\tau^2}, \quad (6.3.1.9)$$

где τ и σ — соответствующие составляющие касательных и нормальных напряжений.

6.3.1.10 Согласно 6.3.1.2 допускается упрощение расчетного условия (6.3.1.2-1) путем учета в нем только двух наиболее характерных режимов эксплуатации («судно в грузу» и «судно в балласте»).

В этом случае указанное условие может быть использовано в следующем виде:

$$\sqrt[4]{\bar{t}_T [\sigma_{r(6)}^\Sigma / k_{cT}]^4 + (1 - \bar{t}_T) [\sigma_{r(6)}^\Sigma / k_{c6}]^4} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (6.3.1.10)$$

где $\sigma_{r(6)}^\Sigma$ — суммарные величины размахов переменных нормальных напряжений при плавании в грузу (в балласте), определяемые согласно зависимости (6.3.1.2-2);

$\bar{t}_T$ — относительное время эксплуатации судна в грузу, которое может быть принято в соответствии с указанным в гл. 3.3;

$k_{cT(6)}$ — значение коэффициента k_c в формуле (6.3.1.4-2) при напряжениях $\sigma_c^\Sigma = \sigma_{cT(6)}^\Sigma$ для судов в грузу (в балласте);

$\sigma_{\text{доп}} = k_d \sigma_F^0$ — допускаемое напряжение при $k_c = 1$.

6.3.2 Определение расчетных напряжений.

6.3.2.1 Суммарные расчетные величины размахов¹ номинальных значений переменных нормальных напряжений от общих и местных нагрузок в нормативном выражении (6.3.1.2-1), действующих в продольных балках днища, бортов и палуб судового корпуса, определяются с учетом (6.3.1.2-2) в соответствии с изложенным в 6.3.2.2.

В связях корпуса, воспринимающих действие только местных нагрузок, определяются только местные напряжения.

¹ Параметры переменных (циклических) напряжений характеризуются их размахами. Соответствующие индексы при обозначениях напряжений, отмечающих указанную особенность, а также принадлежность к i -му грузовому состоянию судна, для сокращения далее опускаются. В качестве переменных расчетных нагрузок принимаются их размахи.

6.3.2.2 Величины общих напряжений σ_1 в выражении (6.3.1.2-1) в общем случае должны определяться в виде суммы σ_1^Σ , включающей напряжения от общего вертикального изгиба корпуса в рассматриваемых связях, нормальные напряжения от горизонтального изгиба и скручивания корпуса, определяемой по формуле

$$\sigma_1^\Sigma = \sqrt{(\sigma_{и}^в)^2 + (\sigma_{и}^г + \sigma_{к}^г)^2 + \sigma_{кв}^2}, \quad (6.3.2.2)^1$$

где $\sigma_{и}^в$ — напряжения при действии на корпус размаха вертикального изгибающего момента;

$\sigma_{и}^г$ — напряжения от горизонтального изгибающего момента;

$\sigma_{к}^г$ — напряжения, вызываемые составляющей скручивающего момента корпуса, обусловленной горизонтальными переменными волновыми давлениями на борта судна (второй член в выражении (2.2.5.1));

$\sigma_{кв}$ — напряжения, вызываемые составляющей скручивающего момента от вертикальных волновых давлений на днище (первый член в выражении (2.2.5.1));

Для корпусов судов замкнутого типа, а также для конструкций корпусов судов с раскрытыми палубами, удаленных от верхней палубы более чем на 0,1 высоты корпуса, составляющие напряжений от скручивания корпуса могут не учитываться.

6.3.2.3 Для уточнения величин напряжений σ_2 с объективным учетом граничных условий основных несущих элементов конструкций и перекрытий рекомендуется выполнение расчетов по МКЭ с учетом эффектов пространственного взаимодействия перекрытий в составе объемных отсеков корпуса.

При использовании упрощенных схем расчета σ_2 , основанных на стержневой идеализации балочных элементов объемного отсека, получаемые значения σ_2 следует увеличивать на 20%.

6.3.2.4 Расчет напряжений σ_3 производится в соответствии с зависимостью

$$\sigma_3 = k_l^2 k_\Delta \frac{Ql \cdot 10}{mW}, \text{ МПа}, \quad (6.3.2.4-1)$$

где $k_l = l_p/l$ — коэффициент сокращения расчетной длины пролета продольных балок за счет опорных подкреплений (см. рис. 6.2.2.1-2);

Q — расчетная нагрузка балки, кН, определяемая по формуле

$$Q = qal \cdot 10^{-4}, \quad (6.3.2.4-2)$$

q — расчетное давление, кПа;

a, l — ширина и длина, соответственно, опорной поверхности пластины обшивки, воспринимающей и передающей давление q на балку, см;

$m = 12$ — коэффициент изгибающего момента для жестко заделанных балок;

W — расчетный момент сопротивления балки, см³;

k_{Δ} — коэффициент снижения номинальных расчетных напряжений у концов подкреплений по сравнению с расчетными значениями напряжений в сечениях по концам расчетных пролетов балок, равный:

$$k_{\Delta} = 1 - \Delta_0/l \text{ — при прямоугольной форме кницы} \quad (6.3.2.4-3)$$

и $k_{\Delta} = 1 - 1,5\Delta_0/l$ — при скругленной ее форме;

Δ_0 — продольный размер (катет) кницы, подкрепляющей балку со стороны рассчитываемого опорного сечения (см. рис. 6.2.2.1-2); при прямоугольной форме конца подкрепляющего элемента балки, обращенного в сторону ее расчетного пролета, величина $\Delta_0 = 0$.

6.3.2.5 Суммарные средние (статические) нормальные напряжения определяются в общем случае с учетом составляющих напряжений $(\sigma_{cc})_j$, обусловленных действием статических нагрузок, а также переменными нагрузками с коэффициентами асимметрии $R_i > -1$ по формуле

$$\sigma_c^{\Sigma} = \sum_j (\sigma_{cc})_j + \sum_i k_{cpi} \sigma_{pi}, \quad (6.3.2.5)$$

где σ_{pi} — размах i -ой составляющей переменных напряжений в рассматриваемой точке конструкции с учетом знака напряжений: «+» — растяжение, «-» — сжатие;

$$k_{cpi} = \frac{1 + R_i}{2(1 - R_i)} \text{ — коэффициент учета асимметричных циклов переменных нагружений.}$$

При одностороннем действии переменных нагрузок можно считать $R_i \approx 0$ и $k_{cpi} \approx 1/2$.

Аналогично определяются и суммарные статические касательные напряжения.

В состав компонентов второго слагаемого выражения (6.3.2.5) включается не более одного члена (например, волновые давления на бортовые конструкции, не испытывающие переменных противодавлений груза, переменные давления на концевые поперечные переборки наливных судов и т. п.). При двустороннем действии переменных нагрузок на конструкции (например, волновые давления на борта и переменные давления на них от жидкого груза) второй компонент выражения (6.3.2.5) может не учитываться.

6.3.2.6 Переменные напряжения в связях переборок, ограничивающих грузовые отсеки судов, перевозящих наливные и насыпные грузы, определяются путем рассмотрения их в виде перекрытий, испытывающих действие переменных давлений, размахи которых рассчитываются по формулам гл. 5.4 и 5.5.

При этом учитываются реальные условия закрепления переборок на смежных конструкциях корпуса путем анализа пространственного деформирования отсеков корпуса с использованием МКЭ.

Суммирование напряжений в обшивке переборки, обусловленных ее изгибом между подкрепляющим набором, с напряжениями от участия обшивки в деформировании балок набора в качестве их присоединенных поясков осуществляется в соответствии с зависимостью

$$\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma} = \sigma_{\text{н}}^0 + \sigma_{\text{и}}^0, \quad (6.3.2.6-1)$$

где $\sigma_{\text{н}}^0$ — расчетные напряжения в обшивке от ее участия в деформировании балок набора;
 $\sigma_{\text{и}}^0$ — расчетные напряжения на опорном контуре пластин обшивки от ее собственного изгиба между балками набора, определяемые путем использования расчетных зависимостей теории изгиба жестких жестко заделанных по контуру равномерно нагруженных прямоугольных пластин.

При расчете продольных переборок

$$\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma} = \sqrt{(\sigma_{\text{н}}^0 + \sigma_{\text{и}}^0)^2 + \sigma_1^2}, \quad (6.3.2.6-2)$$

где σ_1 — напряжения от общего изгиба корпуса на уровне рассматриваемой связи.

В этом случае величина

$$\sigma_{\text{и}}^0 = \frac{1}{2} (a/s)^2 k_p \cdot 10^{-3}, \text{ МПа}, \quad (6.3.2.6-3)$$

где a, s — длина и толщина, соответственно, короткой опорной кромки пластины, см;
 p — расчетная интенсивность давлений, действующих на рассматриваемую пластину, кПа;

$$k_p = (1,2 - 0,5a/l)^2 \leq 1. \quad (6.3.2.6-4)$$

Условие прочности пластин обшивки определяется неравенством

$$(\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma})_R \leq k_d \sigma_F[(\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma})_c], \quad (6.3.2.6-5)$$

где $(\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma})_R$ — размах приведенных суммарных напряжений, определяемый в соответствии с выражением (6.3.2.6-1) при действии на переборку размахов переменных расчетных давлений (см. 5.4, 5.5);

k_d — коэффициент допускаемых напряжений, принимаемый равным 1,5;
 $(\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma})_c$ — суммарные значения статической составляющей напряжений в рассматриваемой точке опорного контура пластины;

$\sigma_F[(\sigma_{\text{пр}}^{\Sigma})_c]$ — предел усталостной прочности материала пластины на ее опорном контуре, определяемый с учетом влияния сварных швов в соответствии с данными табл. 2 приложения 2 и влияния статических напряжений согласно зависимости (6.3.1.4-2).

6.3.3 Номенклатура и районы расположения конструктивных узлов, подлежащих проверке по критерию усталостной прочности¹.

При выполнении расчетов нужно обращать внимание на следующие районы и конструкции корпуса:

.1 узлы пересечения балок основного продольного набора с поперечными связями верхней палубы, наружного и второго дна, а также бортовых перекрытий с продольной системой набора. Рассматриваемые районы по длине корпуса — район миделя, а для бортовых перекрытий также носовой район окончания продольной системы набора. В качестве обязательного минимума рекомендуется осуществлять проверку прочности конструктивных узлов этого типа, расположенных в местах, указанных на рис. 6.3.3-1;

.2 ослабленные вырезами для прохода балок продольного набора стенки балок поперечного набора днищевых перекрытий и нагруженных поперечной нагрузкой палубных перекрытий. Расчет указанных узлов производится для носовых трюмов, где действуют наибольшие переменные нагрузки от продольной качки и обусловленные ею волновые давления и силы инерции от грузов. Рассмотрению также подлежат ослабленные вырезами сечения стенок, ближайшие к опорам балок, где действуют наибольшие перерезывающие силы (см. рис. 6.3.3-2);

.3 узлы пересечения с поперечными связями усиленных продольных балок перекрытий;

.4 узлы сопряжения балок и настила второго дна с опорными конструкциями поперечных переборок и со скуловыми цистернами двойных бортов (см. рис. 6.3.3-1 и 6.3.3-2);

.5 опорные узлы балок бортового поперечного набора и переборок;

.6 листы обшивки переборок наливных судов (верхние и средние по высоте поясья);

.7 кромки углов больших палубных вырезов грузовых люков.

6.3.4 Учет расчетного срока эксплуатации и коррозии.

Предполагается, что расчетный срок эксплуатации судна T_p составляет 25 лет.

При отличии от этого срока указанные значения коэффициентов допускаемых напряжений k_d умножаются на коэффициент

$$k_T = (25/T_p)^{0,25}. \quad (6.3.4)$$

¹ Приведенные основные положения и зависимости могут использоваться для проверки усталостной прочности практически любых конструктивных узлов корпусных конструкций транспортных судов, для которых определен порядок расчета эксплуатационных нагрузок, и могут быть оценены параметры усталостной прочности этих узлов согласно выражению (6.3.1.5-1) и сопровождающим его пояснениям, а также данным табл. 2 приложения 2.

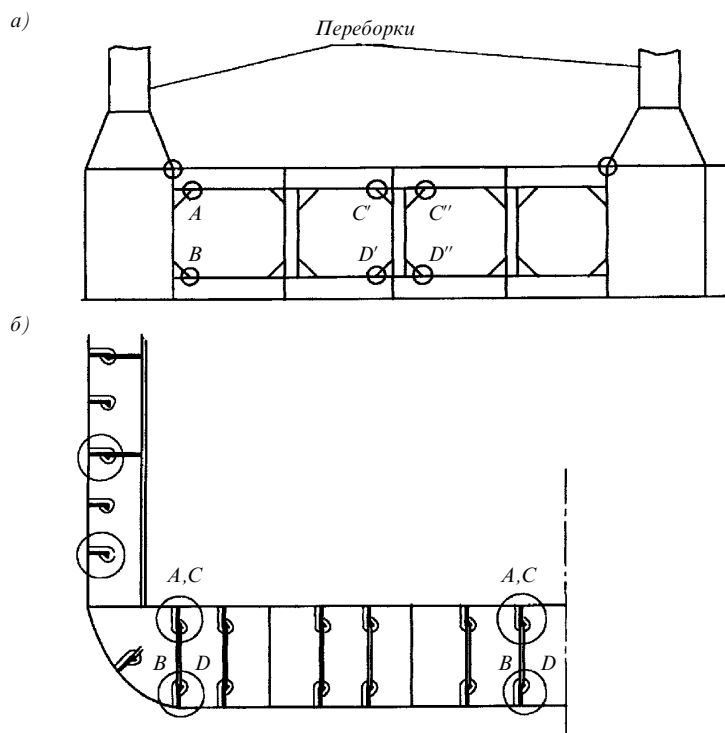


Рис. 6.3.3-1

Ориентировочная схема расположения «горячих точек» узлов продольного набора, проверяемых по критерию усталостной прочности:

а) — в пределах отсека; б) — по его поперечному сечению;

○ — «горячая точка»;

A, B, C, C', C'', D, D', D'' — буквенные символы, характеризующие расположение «горячих точек» (узлов) по длине и ширине днищевое перекрытия

При расчетах напряжений в конструкционных связях должен приниматься во внимание их коррозионный износ.

На стадии проектирования корпуса это должно осуществляться путем уменьшения проектных толщин конструкций на величину проектного запаса на их коррозионный износ.

Конкретный порядок определения соответствующих поправок принимается согласно части II «Корпус» Правил Регистра.

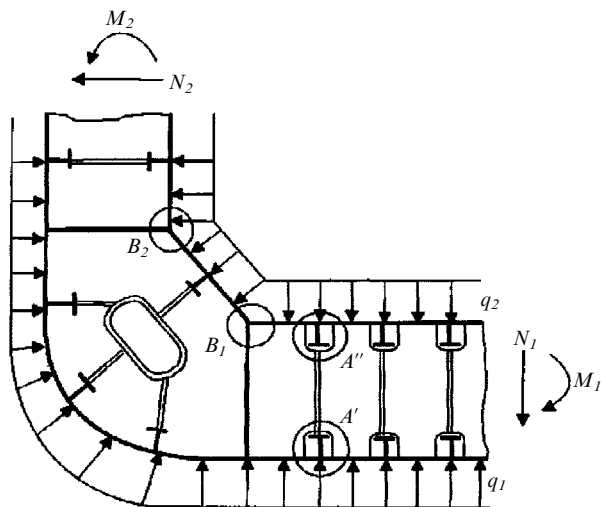


Рис. 6.3.3-2

Схема расположения узлов, проверяемых по критерию усталостной прочности на циклические сдвигающие усилия (A' , A'') и на циклическое изгибающее нагружение (B_1 , B_2):

q_1 , M_i , N_i — интенсивности поперечных нагрузок, изгибающие и сдвигающие усилия, действующие на указанные конструктивные связи

7. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДНИЩЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ НА ДЕЙСТВИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОТ СЛЕМИНГА

7.1. РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

Расчет гидродинамических давлений производится в следующей последовательности.

Определяются значения расчетных гидродинамических давлений на днище q_{SL}^d , кПа, для чего используется следующая формула:

$$q_{SL}^d = q_{max} \bar{q}(\bar{x}), \quad (7.1-1)$$

где q_{max} — максимальная величина давлений;

$\bar{q}$ — относительное распределение по длине оконечности (см. рис. 7.1-1);

$\bar{x} = x/L$ — относительное расстояние рассматриваемого сечения от носового перпендикуляра.

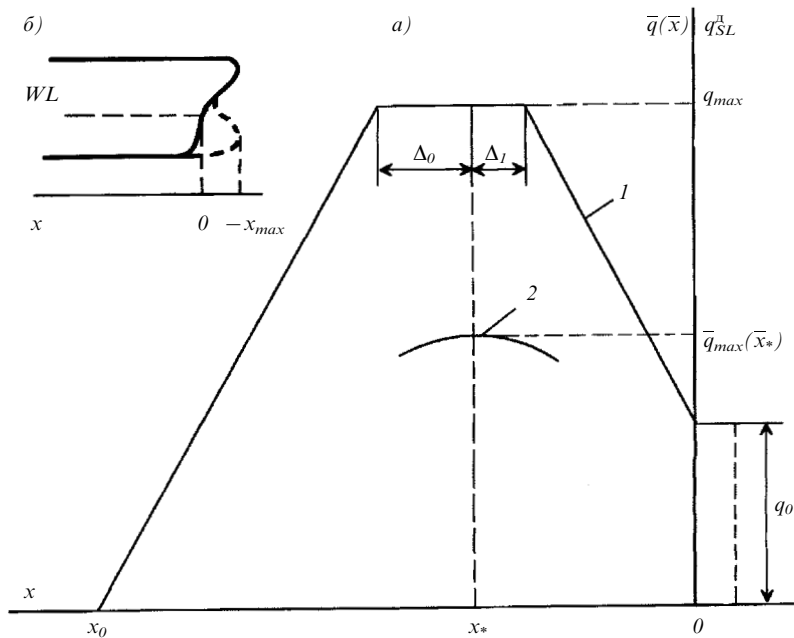


Рис. 7.1-1

Схема определения расчетного давления q_{SL}^n :
на рис. а: 1 — эпюра расчетных давлений q_{SL}^n ;
2 — значения произведения $\bar{q}(\bar{x}) = \bar{b}(1 - \bar{b})(1 - x/x_0)$, — см. ниже;
 q_0 — расчетные значения q_{SL}^n для участка носовой оконечности
в районе от $x \leq 0$ до $x = -x_{\max}$ (см. рис. б);
 $q_0 = 0,25q_{\max}$ при обычной форме носовой оконечности;
 $q_0 = 0,50q_{\max}$ при бульбовой форме носа

$$\Delta_0 = \frac{1}{4} (x_0 - x^*); \quad \frac{1}{4} \Delta_1 = x^*;$$

x^* — величина продольной координаты, соответствующая максимуму выражения $\bar{q}$ (7.1-3)

Величина

$$q_{\max} = 3 \cdot 10^3 [a_m - 0,5]^{1,5} \bar{q}_{\max} f_v k_* (\bar{b}_*) \varphi_r^2. \quad (7.1-2)$$

Здесь $a_m(\bar{x}^*) = [1 - k_x(\bar{x}^* - 0,1)] a_m(0,1)$,

где $k_x = 4$ при $\bar{x}^* = x^*/L \leq 0,1$;

$k_x = 2,8$ при $\bar{x}^* = x^*/L \geq 0,1$;

x^* — отстояние максимума эпюры расчетных давлений от носового перпендикуляра, определение которого указано ниже;

$a_m(0,1) = a_2$ — см. (2.2.6-3).

Величина x_* находится путем численного определения максимума произведения

$$\bar{q}(x) = [\bar{b}(1 - \bar{b})(1 - x/x_0)]_{\max} = \bar{q}_{\max}(x_*), \quad (7.1-3)$$

где $\bar{b} = b/0,5B \leq 0,55$;

b — полуширина днищевой ветви шпангоута, м, в рассматриваемом поперечном сечении с координатой x на уровне осадки $d_q = 0,05B$, (см. рис. 7.1-2);

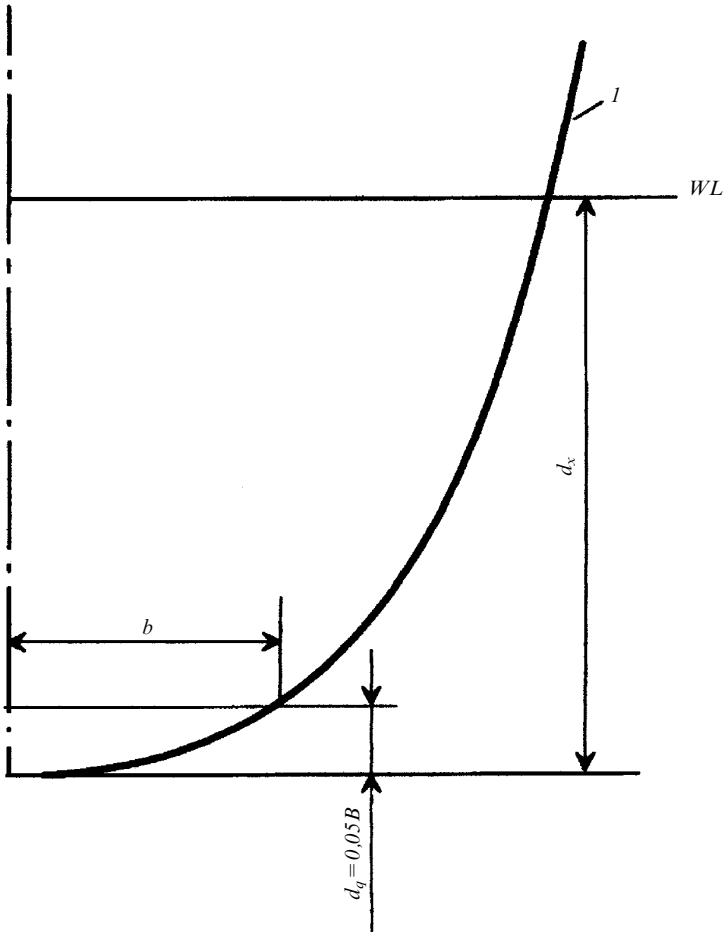


Рис. 7.1-2
Определение параметра b :
 1 — контур шпангоута

x_0 — отстояние от носового перпендикуляра кормовой границы зоны действия гидродинамических давлений, м, определяемое по формуле

$$x_0 = (0,48 - 0,40 \frac{(20d_1/L)\sqrt{1+0,95L/100}}{a_2\phi_r^{1,25}})L; \quad (7.1-4)$$

d_1 — расчетная осадка в сечении с $\bar{x}_1 = \bar{x}_*$;

ϕ_r — редуцированный коэффициент местных волновых нагрузок судов ограниченных и смешанных районов плавания, определяемый в соответствии с табл. 5.1 (см. также пояснения к формуле (7.1-2)).

В формуле (7.1-2) также

$$f_v(\bar{L}) = L/180(2 - L/180) \text{ при } L/180 \leq 1,$$

$$f_v(\bar{L}) = [1 + 0,4(L/180 - 1)^2]^{-1} \text{ при } L/180 \geq 1.$$

$$k_*(\bar{b}_*) = [1 + 1,5\bar{b}_*^2]^{-1}, \quad (7.1-5)$$

где $\bar{b}_* = b/0,5B$ — относительная величина параметра b_* в сечении носовой оконечности, где расчетные давления согласно (7.1-3) достигают максимума (см. рис. 7.1-2).

Для судов смешанного плавания II СП и III СП, требуется уточнение параметра ϕ_r . Для этого определяется величина соотношения

$$\bar{h}_3 = (h_{3\%})_{1/3} / (h_{3\%}^*)_{1/3}, \quad (7.1-6)$$

$$(h_{3\%})_{1/3} = 2,75c_v + 2,25, \text{ м}, \quad (7.1-7)$$

$$\text{где } c_v = \frac{L}{100c_b} \cdot \frac{L}{7B} \cdot \frac{3N}{\Delta} \left(\frac{25d_{\infty}}{L} \right)^{1,5};$$

N — мощность энергетической установки, идущая на движение, кВт;

Δ — водоизмещение судна в рассматриваемых условиях плавания;

c_b — коэффициент общей полноты, соответствующий величине Δ , т.

$$\text{Величина } (h_{3\%}^*)_{1/3} = \begin{cases} 5 \text{ м} & \text{для судов категории II СП,} \\ 4 \text{ м} & \text{для судов категории III СП.} \end{cases}$$

Если $\bar{h}_3 > 1$, то в (7.1-2) и (7.1-4) вместо ϕ_r должна приниматься величина

$$\phi'_r = \phi_r \bar{h}_3 \leq \phi_r^{0,5}. \quad (7.1-8)$$

При значениях $\bar{h}_3 < 1$ допускается уменьшение величин ϕ'_r пропорционально $\bar{h}_3^{0,5}$ т.е.

$$\phi'_r = \phi_r \bar{h}_3^{0,5}. \quad (7.1-9)$$

7.2. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ДНИЩЕВОЙ ОБШИВКИ НА ДЕЙСТВИЕ ДАВЛЕНИЙ ОТ СЛЕМИНГА

Расчет прочности днищевой обшивки сводится к проверке выполнения условия

$$K_3 = q_{\text{пр}}/q_p \geq 1,2, \quad (7.2-1)$$

где $q_{\text{пр}}$ — предельная интенсивность давлений для жестких пластин ($n=0$), определяемая согласно зависимости (6.2.2.2-1);
 q_p — расчетные давления согласно (7.1-1).

Для криволинейных участков обшивки величина $q_{\text{пр}}$ согласно (6.2.2.2-1) увеличивается пропорционально соотношению

$$k_r = 1 + s_r/r,$$

где r — радиус кривизны;

s_r — расстояние между опорными кромками пластин, м, перпендикулярно которым имеется кривизна с радиусом r , м.

7.3. БАЛКИ ПРОДОЛЬНОГО НАБОРА ДНИЩА

Прочность продольного набора днища при расчетных гидродинамических давлениях от слеминага должна удовлетворять условию

$$K_3 = Q_{\text{пр}}/Q_p \geq 1,35, \quad (7.3-1)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — предельная нагрузка для балки набора, кН;

$Q_p = q_{SL} a l_p$ — расчетная нагрузка от давлений согласно выражению (7.1-1).

Величина $Q_{\text{пр}}$ для неразрезных балок набора, кН, вычисляется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1,6 W''_{\text{п}} \sigma_{\text{т}}^{\text{н}}}{l_p} \bar{Q}_p, \quad (7.3-2)$$

где $W''_{\text{п}}$ — предельный момент сопротивления поперечного сечения балки с учетом нормативной поправки на ее износ (см. 6.2.2), см³;

l_p — расчетная длина свободного пролета балки, определяемая с учетом его сокращения за счет опорных книц (см. рис. 6.2.2.1-2), см;

a — шпация (расстояние между балками), см.

Коэффициент $\bar{Q}_p$ определяется по формулам:

$$\bar{Q}_p = \frac{1}{1 + 0,55 \zeta^2} \quad \text{при } \zeta \leq 1, \quad (7.3-3)$$

$$\bar{Q}_p = 0,65/\zeta \quad \text{при } \zeta \geq 1, \quad (7.3-4)$$

где $\zeta = \frac{4\sqrt{3}W_n}{f_{cr}I_p} \approx \frac{7h}{I_p} (0,5 + f_n/f_{cr})$;

f_{cr} — площадь сечения стенки балки;

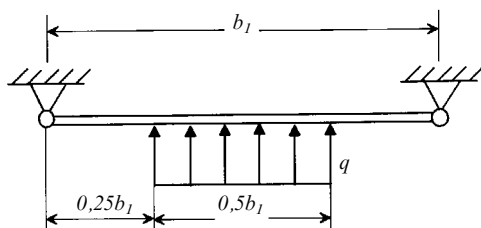
f_n — площадь свободного пояска (см. (6.2.2.1-5)).

7.4. ПОПЕРЕЧНЫЕ БАЛКИ ДНИЩЕВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЯ В ЦЕЛОМ

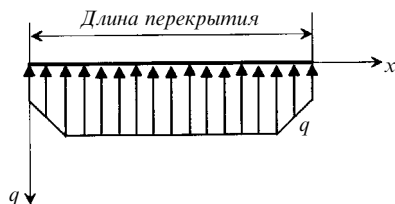
Предельная прочность поперечных балок днищевых перекрытий и перекрытия в целом проверяются на действие частично распределенной по ширине перекрытия квазистатической нагрузки, параметры которой и ее распределение принимаются в соответствии с указанным на рис. 7.4.

Коэффициенты запаса соответствуют приведенным в табл.1 приложения 2.

a)



b)



c)

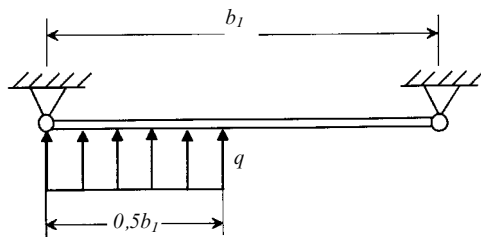


Рис. 7.4

Распределение расчетных давлений:

a — в поперечном направлении при расчете поперечных балок;

b — в продольном направлении при расчете перекрытия;

c — вариант приложения нагрузки для проверки прочности опорных сечений флоров на сдвиг;

q — продольное распределение расчетных давлений;

$b_l = 2b$ — расчетная длина поперечной балки перекрытия в рассматриваемом сечении.

8. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

8.1. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ

8.1.1 Общие принципы расчета.

Основные отличия проверки прочности конструкций и корпуса судов в эксплуатации сводятся к следующему:

вводятся редуцированные коэффициенты к величинам переменных составляющих общих и местных расчетных нагрузок, обусловленных волновыми воздействиями и качкой судна;

при расчетах общей прочности вводятся редуцированные коэффициенты φ_3 к коэффициентам запаса предельной прочности в условиях (3.2-1), (3.2-6);

при расчетах местной прочности коэффициенты запаса прочности принимаются в соответствии с табл. 1 приложения 2.

8.1.2 Общая прочность корпуса.

Значения редуцированных коэффициентов φ_q принимаются следующими: для волновых изгибающих моментов

$$\varphi_q^B = 0,92,$$

для динамических изгибающих моментов

$$\varphi_q^D = 0,85.$$

Значения редуцированных коэффициентов φ_3 определяются по формуле

$$\varphi_3 = \frac{k_w}{0,40 + 0,60k_w} \leq 1, \quad (8.1.2)$$

где k_w — коэффициент допускаемого относительного уменьшения момента сопротивления поперечного сечения корпуса судна в процессе эксплуатации по сравнению с требуемым Правилами Регистра для нового судна. Коэффициент k_w принимается в соответствии с действующими требованиями Регистра в отношении требований к общей прочности эксплуатирующихся судов.

8.1.3 Местная прочность.

Для волновых и инерционных переменных составляющих местных нагрузок редуцированный коэффициент $\varphi_q = 0,92$.

Наличие повышенного канавочного износа вдоль продольных кромок защемленных пластин, нагруженных поперечной нагрузкой,

учитывается при расчетах их поперечной прочности умножением расчетных значений предельной интенсивности давлений согласно выражениям (6.2.2.2-1) и (6.2.2.2-2) на редуцированный коэффициент, равный

$$c_q = 0,5(1 + v^2),$$

где v — относительное утонение пластины в зонах канавочного износа вдоль ее продольных кромок.

Для гидродинамических нагрузок от слеминга редуцированный коэффициент $\varphi_q = 0,85$.

8.2. УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ

Проверка общей и местной усталостной прочности производится в соответствии с указаниями гл. 3.3 и 6.3. При этом толщины связей и характеристики прочности балочных конструкций, а также корпуса в целом, вводимые в расчет, должны определяться с учетом результатов освидетельствования технического состояния корпуса согласно зависимости

$$w_p = w_\phi + \Delta w(1 - 0,6T_p^{\max}/T_\exists), \quad (8.2)$$

где w_p — расчетные значения толщин обшивки при расчете прочности обшивки, а при расчетах прочности балочных конструкций — характеристики прочности сечений (моменты сопротивления, площади сечения стенок и сварных соединений, работающих на срез) или моменты сопротивления корпуса в целом при расчетах их общей прочности;

$T_\exists$ — срок эксплуатации судна на момент освидетельствования его технического состояния;

w_ϕ — фактическая величина рассматриваемого параметра по результатам освидетельствования технического состояния корпуса;

$\Delta w = w - w_\phi$ — уменьшение параметра w по сравнению с его величиной на момент постройки, произошедшее в результате коррозионного износа связей;

$T_p^{\max}$ — полный расчетный срок эксплуатации, на который рассчитано судно (при отсутствии других данных можно полагать $T_p^{\max} = 25$ лет).

Указанные расчеты с использованием зависимости (8.2) рекомендуется производить при $T_\exists/T_p^{\max} > 0,25$.

Аналогичным способом может учитываться наличие износа угловых тавровых швов соединения балок набора с обшивкой при проверке их усталостной прочности в соответствии с рекомендациями 6.3.1.9.

8.3. УЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ ПРОГИБОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ ОБЩЕЙ И МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

8.3.1 Редуцирование балок и обшивки.

При наличии остаточных прогибов балок основного продольного набора перекрытий корпуса, а также прогибов пластин обшивки и настилов перекрытий, набранных по поперечной системе набора¹, площади их сечений при расчетах общей прочности вводятся в состав эквивалентного бруса с редуцированными коэффициентами, определяемыми с помощью зависимости

$$\psi_v = \frac{1}{1 + k\varphi_i}, \quad (8.3.1-1)$$

где $k = \frac{11}{\sigma_3} (20v_0^{\Sigma}/l)^2 235/\sigma_T^H$;

v_0^{Σ} — суммарная стрелка прогиба рассматриваемого конструктивного элемента (балки, пластины) в рассматриваемом продольном сечении, равная сумме остаточного прогиба и упругого прогиба при действии на него расчетной поперечной нагрузки, см;

l — расчетная длина свободного пролета элемента в направлении действия продольных усилий, см;

σ_3 — эйлеровы продольные напряжения (напряжения упругой потери устойчивости) рассматриваемого элемента, соответствующие форме его прогиба, МПа; при этом $\bar{\sigma}_3 = \sigma_3/\sigma_T^H$;

$$\sigma_3 = \sigma_3^0/k_v. \quad (8.3.1-2)$$

Здесь σ_3^0 — эйлеровы напряжения элемента, определяемые в предположении его свободного опирания по концам свободного пролета, МПа;

k_v — коэффициент, учитывающий влияние прогибов в смежных в продольном направлении пролетах рассматриваемого элемента по отношению к пролету, в котором определяется значение параметра ψ_v . Этот коэффициент определяется согласно зависимости

$$1 \leq k_v = 2,5 + 1,5v_1^{\Sigma}/v_0^{\Sigma} \leq 4, \quad (8.3.1-3)$$

где v_1^{Σ} — средняя величина суммарного (с учетом прогиба от поперечной нагрузки) прогиба в смежных пролетах, определяемая как среднеарифметическое значение этого параметра в указанных пролетах с учетом знака этих величин: «+» — при совпадении направлений v_1^{Σ} и v_0^{Σ} и «-» — при различии направления этих прогибов.

Редуцированные коэффициенты φ_i определяются по формулам

$$\begin{aligned} \varphi_i = \varphi_1 &= \frac{1 + 0,5\bar{\sigma}_{ж}}{(1 + \bar{\sigma}_{ж})^2} \text{ — при растяжении связи,} \\ \varphi_i = \varphi_2 &= \frac{1 - 0,5\bar{\sigma}_{ж}}{(1 - \bar{\sigma}_{ж})^2} \text{ — при сжатии связи,} \end{aligned} \quad (8.3.1-4)$$

¹ Влияние остаточных прогибов пластин перекрытий при продольной системе набора на их редуцирование в составе эквивалентного бруса не учитывается.

$\sigma_{\text{ж}}$ — продольные напряжения в жестких продольных связях от расчетного изгибающего момента (3.2-3), МПа, при этом $\bar{\sigma}_{\text{ж}} = \sigma_{\text{ж}}/\sigma_{\text{з}}$.

При определении редуционных коэффициентов ψ_v для пластин должно соблюдаться условие

$$\psi_v \leq \psi_1 = \sigma_z^0 / \sigma_{\text{ж}}. \quad (8.3.1-5)$$

В случае, если оно не выполняется, в расчете должны использоваться значения редуционного коэффициента ψ_1 .

Редуцированию указанным способом подлежат участки настилов перекрытий, набранных по поперечной системе набора и имеющих остаточные погиби, за исключением так называемых «жестких участков» настилов у продольного опорного контура пластин, определяемых в соответствии с рис. 8.3.1.

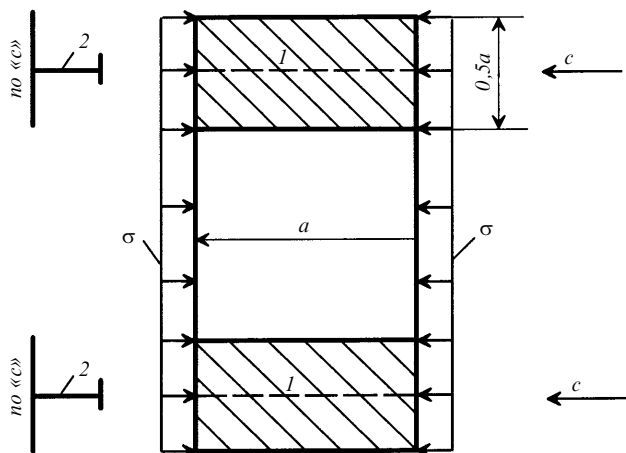


Рис. 8.3.1
Определение «жестких участков» настила (1)
и их включение в площадь профилей балок набора (2)

В редуцируемую площадь балок продольного набора включается площадь профиля балки с «жесткими» присоединенными поясками обшивки, определяемыми в соответствии с рис. 8.3.1.

8.3.2 Учет остаточных прогибов при расчете предельной прочности конструктивных элементов.

Остаточные прогибы учитываются при выполнении расчетов прочности дополнением правых частей расчетных выражений (6.2.2.2-1) для балок набора и (6.2.2.2-1) и (6.2.2.2-2) при расчетах пластин обшивки следующими членами:

при расчете балок

$$\Delta Q_{\text{пр}} = \pm \psi_v T v_0^{\Sigma}, \quad (8.3.2-1)$$

при расчете пластин обшивки

$$\Delta q_{\text{пр}} = \pm \psi_v \sigma_{\text{ж}} s' v_0^{\Sigma}, \quad (8.3.2-2)$$

где ψ_v — редуцированные коэффициенты, определяемые в соответствии с 8.3.1;

$T = |\sigma_{\text{ж}}| F'$ — расчетные продольные усилия в жестких связях;

F' — площадь поперечного сечения балки с присоединенным пояском обшивки с учетом фактического износа связей;

s' — толщина обшивки также с учетом износа.

Знак «+» принимается в случае растяжения связей, «—» — в случае их сжатия¹.

8.3.3 Учет неортогональности присоединения балок набора к обшивке.

При неортогональном присоединении балок набора к обшивке (как вследствие такого изготовления конструкции в процессе постройки и ремонта судна, так и в результате повреждения конструкции) характеристики прочности и жесткости балок вводятся в расчет с редуцированным коэффициентом, равным

$$\psi_w = \cos \beta, \quad (8.3.3)$$

где β — наибольшая величина угла отклонения стенки балки от направления, перпендикулярного к обшивке, с которой соединен профиль балки.

¹ Учет положительного влияния погиби при растяжении на значения $Q_{\text{пр}}$ может производиться только при минимальных гарантированных значениях растягивающих усилий.

9. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ПРИ ОБНОВЛЕНИИ КОРПУСА

Основные отличия процедуры проверки прочности конструкций при обновлении (продлении срока эксплуатации) корпуса аналогичны описанным применительно к стадии эксплуатации судна (см. разд. 8) при изменениях отдельных параметров расчета, рассмотренных в гл. 9.1 и 9.2.

9.1. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ

9.1.1 Общая прочность.

Значения редуционных коэффициентов для переменных нагрузок $(\phi_q)_p$ определяются по следующим формулам:
для волновых изгибающих моментов

$$(\phi_q^B)_p = 1 - \frac{\ln(25/T_p)}{18,4} \geq 0,92, \quad (9.1.1-1)$$

где T_p — срок продления эксплуатации судна, годы;

для динамических изгибающих моментов

$$(\phi_q^D)_p = [(\phi_q^B)_p]^2. \quad (9.1.1-2)$$

Значения расчетных коэффициентов запаса предельной прочности принимаются равными

$$K_3^p = K_3 \frac{T_p - 5}{20} + K'_3 \left(1 - \frac{T_p - 5}{20}\right), \quad (9.1.1-3)$$

где K_3 , K'_3 — расчетные коэффициенты запаса предельной прочности рассматриваемых конструкций на стадиях проектирования и эксплуатации судна (см. 3.2-1 и 8.1.2).

9.1.2 Местная прочность.

Значения редуционных коэффициентов для волновых и инерционных переменных составляющих местных нагрузок определяются согласно выражению (9.1.1-1), а для гидродинамических нагрузок от слеминга — согласно (9.1.1-2).

Значения коэффициентов запаса предельной прочности вычисляются согласно выражению (9.1.1-3).

9.2. УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ

Коэффициенты допускаемых напряжений для обновленных конструкций определяются в соответствии с зависимостями

$$(k_d)_p = (20/T_p)^{0,25}, (k_d)_p \leq 1,2k_d \quad (9.2-1)$$

где k_d — соответствующие параметры, рекомендованные выше для расчета конструкций проектируемых судов.

Для конструкций, остающихся в составе обновляемого корпуса, значения

$$(k_d)'_p = \left(\frac{25}{T_3 + T_p}\right)^{0,25} k_d, \quad (9.2-2)$$

где T_3 — срок, предшествующей эксплуатации судна к моменту обновления его корпуса.

Параметры прочности рассчитываемых конструктивных связей и корпуса в целом принимаются в расчетах, предусмотренных в гл. 9.1 и настоящей главе, соответствующими исходным толщинам конструкций, принятым при разработке проекта обновления за вычетом ожидаемого уменьшения этих толщин из-за их износа за время эксплуатации $T_3 = 0,5T_p$.

Скорости износа для обновленных конструкций принимаются согласно требованиям Правил Регистра как для новых конструкций.

Для старых конструкций эти скорости могут быть приняты, исходя из данных об их фактических значениях за предшествующий срок эксплуатации судна.

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТАМ ПРОЧНОСТИ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ)**

Расчеты прочности конструкций судового корпуса базируются на принятых в НМУ общих принципах схематизации конструкций, определения расчетных нагрузок и критериев прочности. В каждом конкретном случае нагрузка назначается в соответствии с классом судна и типом рассматриваемой конструкции. Расчеты прочности должны выполняться по программам, принятым или одобренным Регистром.

Представленные на рассмотрение материалы прямого расчета прочности должны сопровождаться документацией, обеспечивающей правильную интерпретацию результатов.

Документация по исходным данным должна содержать необходимую информацию о принятой модели рассматриваемой конструкции. Документация о конструкции может иметь ссылки на чертежи или номера чертежей, а отклонения в модели по сравнению с геометрией рассматриваемой конструкции должны быть специально оговорены.

Документация о результатах расчета напряженного состояния конструкций методом конечных элементов должна включать в себя:

- название конструкции,
- единицы измерения,
- расчетный случай нагрузки,
- тип напряжений (нормальные, касательные либо эквивалентные, в средней части или на наружной поверхности).

Оценка результатов должна сопровождаться указанием на принятые критерии прочности.

Для связей, являющихся частью сложной двух- или трехмерной системы, силовые и кинематические граничные условия наиболее правильно определяются из расчета напряженно-деформированного состояния корпусных конструкций в составе объемных отсеков при наиболее важных и характерных случаях нагрузки.

Для объемных отсеков расчетными случаями являются:

при определении экстремальных напряжений (высота максимальной волны h_1):

- расчет на подошве волны в полном грузу;
- расчет на вершине волны в полном грузу;
- расчет на вершине волны в балласте;

при определении усталостной прочности (высота расчетной волны h_2):
расчет на размахи переменных давлений в полном грузу;
расчет на размахи переменных давлений в балласте;
при определении статических напряжений на тихой воде:
расчет в полном грузу при осадке по грузовую ватерлинию;
расчет при балластной осадке.

Расчет средней части корпуса судна с помощью МКЭ должен установить:

- напряжения в поперечных и продольных переборках;
- напряжения в продольных и поперечных связях днища, бортов, переборок и палубы;
- напряжения в стрингерах и других продольных связях у поперечных переборок;
- напряжения в продольных ребрах жесткости по середине длины отсека и в крайних шпангоутах у поперечных переборок;
- напряжения в узлах сопряжения двойного борта и настила второго дна;

- напряжения в конструкции соединения бортовых шпангоутов, скуловых цистерн и настила второго дна;

- напряжения в районе трапецидальных опор под поперечные гофрированные переборки.

В общем случае, когда характер распределения груза по длине судна не создает условий симметрии или антисимметрии, наиболее универсальной является расчетная модель, состоящая из двух смежных грузовых отсеков и включающая разделяющую их поперечную переборку. Расчетным участком, на длине которого достоверно определяются напряжения, является отрезок корпуса между средними по длине сечениями смежных трюмов (танков).

Граничные условия и нагрузка на конечноэлементную модель должны обеспечивать возможность сложения результатов расчета МКЭ с напряжениями и деформациями общего изгиба судна, которые вычисляются независимо в традиционной балочной идеализации корпуса. Для этого должно быть задано отсутствие вертикальных перемещений на линии пересечения борта с поперечной переборкой, а в торцах модели, кроме того, отсутствие поворота поперечных сечений. В целом нагрузка на конечноэлементную модель должна быть самоуравновешенной. Разность сил веса и сил поддержания на длине модели должны компенсироваться вертикальными силами, пропорциональными толщине продольных связей корпуса и приложенными в опорных сечениях флоров к бортам и продольным переборкам.

При расчете объемных отсеков с помощью МКЭ с целью определения номинальных напряжений от пространственного дефор-

мирования достаточной является конечноэлементная сетка, в которой характерные размеры элементов равны в продольном направлении шапации поперечного набора, а в поперечном — расстоянию между продольными ребрами жесткости. Для гофрированных переборок допустимо моделирование их прямоугольными гофрами эквивалентной жесткости. Для рамных связей наиболее целесообразно использовать пластинчатую идеализацию стенок, а свободные пояски моделировать стержневыми элементами, работающими на растяжение — сжатие. Ребра жесткости, промежуточные шпангоуты, стойки плоских переборок и другие подобные балки, воспринимающие как поперечную, так и осевую нагрузку, моделируются балочными элементами, жесткость которых в осевом направлении задается собственной площадью поперечного сечения самого профиля, а жесткость на изгиб — моментом инерции с учетом присоединенного пояска обшивки.

Особое внимание необходимо уделить удовлетворению условий сплошности модели, что обеспечивается тщательным согласованием узлов смежных подконструкций. Переход от расчета объемного отсека в целом к уточненному определению напряженно-деформированного состояния отдельных подконструкций и узлов может быть осуществлен на основе использования результатов расчета отсека путем интерполяции перемещений и напряжений в узловых точках на более густую конечноэлементную сетку.

При больших градиентах изменения напряжений сгущение сетки должно обеспечивать перепад напряжений между смежными конечными элементами, по возможности не превышающий 20%. В районе таких концентраторов напряжений, как окончание книц и т.п., минимальные размеры конечных элементов должны быть близки к толщине листа или катета сварного шва.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПАРАМЕТРЫ НОРМИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

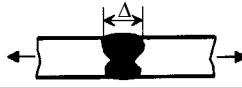
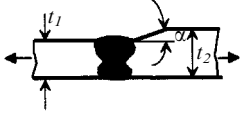
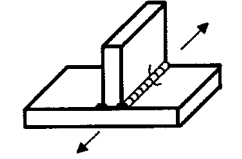
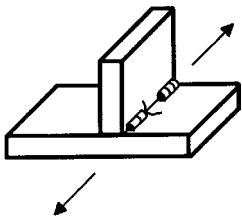
Таблица 1

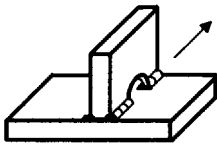
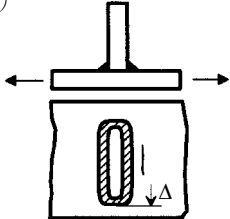
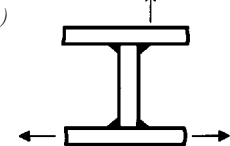
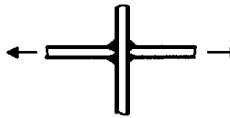
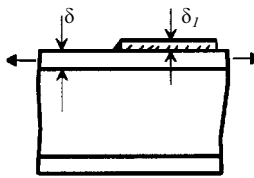
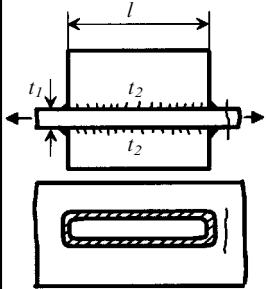
**Параметры нормирования местной предельной прочности корпусных конструкций
при их проектировании и проверке технического состояния в эксплуатации**

№ п/п	Наименование элементов конструкций	Значения коэффициентов запаса прочности			
		при проектировании конструкций (без проектного запаса на износ) K_3		при проверке безопасности эксплуатации между очередными освидетельстованиями K'_3	
		Суда группы I	Суда группы II	Суда группы I	Суда группы II
1	Листовые элементы обшивки и настилов перекрытий корпуса при действии волно- вых и инерционных нагрузок:				
1.1	при продольной системе набора	1,20	1,30	1,00	1,05
1.2	при поперечной системе набора				
1.2.1	наружные перекрытия	1,30	1,35	1,05	1,10
1.2.2	внутренние перекрытия и переборки	1,25	1,30	1,00	1,05
1.2.3	границы гофров переборок	1,20	1,25	1,00	1,05
2	Листовые элементы обшивки днища и бортов носовой оконечности при действии динамических нагрузок от слеминга	1,20	1,25	1,00	1,05
3	Набор перекрытий и перекрытия в целом:				
3.1	балки рамного набора, шпангоуты наружного борта и двойных бортов, шпангоуты в машинном отделении	1,40	1,45	1,10	1,15
3.2	продольные балки основного набора рас- четной палубы, ширстрека, верхнего и нижнего поясьев внутреннего борта и продольных переборок, подпалубных и скуловых цистерн, пластин второго дна и днища в средней части длины судна; перекрытия в целом	1,35	1,40	1,05	1,10
3.3	остальные балки набора и перекрытия; набор перекрытий носовой оконечности при действии нагрузок от слеминга	1,30	1,35	1,05	1,05

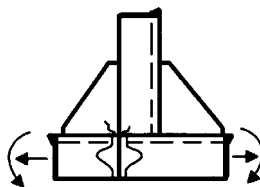
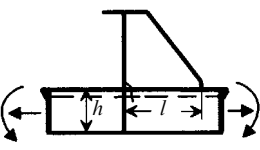
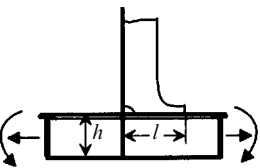
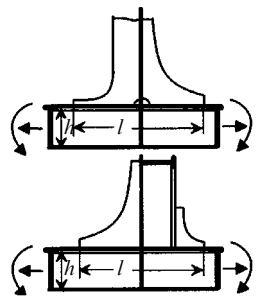
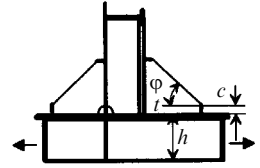
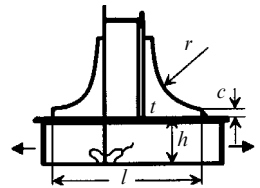
Таблица 2

Расчетные значения пределов усталостной прочности сварных конструктивных соединений
и узлов из стали нормальной прочности

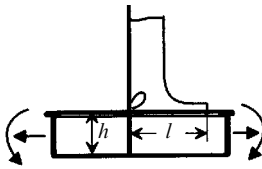
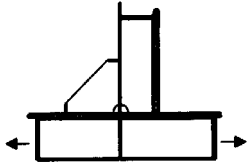
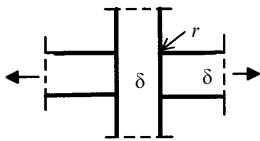
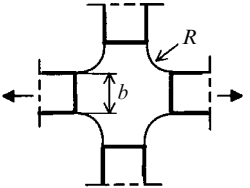
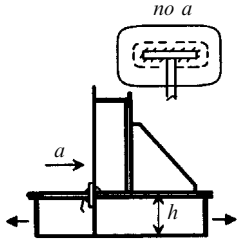
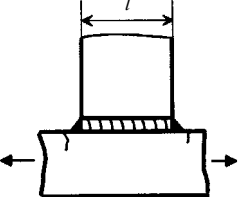
№ п/п	Конфигурация соединения или узла с указанием типа возможного усталостного повреждения и направления действия прикладываемых усилий	Дополнительное описание соединения или узла	σ_F^0 , МПа
1	2	3	4
1		Стыковой шов со снятым усилением при гарантированном полном проваре и выполнении сварки в горизонтальной плоскости соединяемых элементов	130
2		Стыковой шов без снятого усиления, возвышение которого над плоскостью листа не превышает 1 мм + 0,1Δ	100
3	Та же, что и в пункте 2	То же, что и в пункте 2 при сварке произвольно расположенных соединяемых элементов без указания ограничения высоты наплавленного шва	85
4		Стыковой шов на подкладной планке (при определении расчетных напряжений подкладная планка не учитывается)	75
5		Стыковой шов листов разной толщины: для свободных поясков балок приведенные в п. 1 — 3 значения σ_F^0 для соединений листов уменьшаются пропорционально редуциционному коэффициенту γ , определяемому по формуле $0,70 < \gamma = 1,05 - 0,5 \tan \alpha < 1$; для пластин обшивок и настилов аналогичный редуциционный коэффициент β определяется по формуле $\beta = \gamma^{0,5} t_1/t_2$	$\sigma_F^0 \gamma$ $\sigma_F^0 \beta$
6		Автоматическая сварка с исключением начала и окончания процесса сварки из контролируемого участка; ручная сварка с исключением начала и окончания процесса сварки из пределов контролируемого участка	130 110
7		Продольная прерывистая сварка	80

1	2	3	4
8		Продольная сварка: прерываемая вырезами в стенках балок (голубницами); при пропуске через голубницы стыковых сварных швов	75 65
9	a)  б) 	a — поперечный шов при $\Delta > 10$ мм; б — поперечное ребро жесткости	95 95
10		Крестообразное соединение с полным проплавлением сечения нагружаемого элемента	80
11		Продольная накладная пластина (отстояние продольных швов накладной пластины от крайков пояска длиной не менее 10 мм опре- деляется по формуле $1 > \gamma = 1,15 - 0,2\delta_1/\delta \geq 0,8$)	75γ
12		Продольно приваренные пластинчатые элементы к продольно нагружаемой полосе (швы в зоне ожидаемого повреждения зачищены) при $1 > \gamma = 1,3 - l/150 > 0,6$, где l — ширина, мм; $t_2 \sim (0,7 - 0,8)t_1$	70γ

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
13		Соединение разрезного ребра несимметричного полосульбового профиля, испытывающего продольное или поперечное циклическое нагружение (меньшее значение σ_F^0 относится к условиям поперечного нагружения, а большее — к условиям продольного нагружения)	45 — 50
14		Соединение ребра несимметричного полосульбового профиля, испытывающего действие продольного или поперечного циклического нагружения, при $l \approx 1,25h$ (меньшее значение относится к сечению у тупого конца кницы, а большее — к сечению у наклонного конца)	55 — 60
15		Соединение ребра таврового профиля, испытывающего действие продольного или поперечного циклического нагружения, при $h \sim 120$ мм (меньшее значение σ_F^0 относится к соотношению $l/h \sim 1$, второе — к соотношению $l/h \sim 0,5$)	67 — 75
16		Соединение ребра таврового профиля, испытывающего действие продольного или поперечного циклического нагружения, при $h \sim 120$ мм, $l/h \sim 2$	75
17		Кничное треугольное соединение таврового профиля в условиях циклического нагружения пояска от местного или общего изгиба корпуса при $c < 2t$, но не более 25 мм: $\varphi = 45^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\varphi < 25^\circ$,	62 65 70
18		Кничное соединение таврового профиля со скругленными внешними кромками книц в условиях циклического нагружения пояска балки от местного и общего изгиба корпуса при $c < 2t$, но не более 25 мм: $l/h \sim 2$; $r/h \sim 1,5$; $h \sim 200$ мм	70

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
19		Соединение ребра таврового профиля, испытывающего действие продольного или поперечного циклического нагружения, при $h \sim 120$ мм (меньшее значение σ_F^0 относится к соотношению $l/h \sim 1$, второе — к соотношению $l/h \sim 0,5$)	70 — 77
20		Кничное соединение ребра таврового профиля. Большая цифра относится к условиям продольного нагружения, меньшая — к условиям поперечного нагружения	60 — 65
21		Сварка с разделкой и полным проваром швов при $r > \delta$	45
22		Сварка с разделкой и полным проваром швов при $R/b \approx 1$	70
23		Заглушка прохода балки таврового профиля через непроницаемую связь. Продольное циклическое нагружение пояска балки от местного и общего изгиба при $h \sim 120$ мм	60
24		Пластиновый элемент, приваренный к кромке продольно нагружаемой полосы, при $1 > \gamma = 1,2 - l/750 > 0,8$, где l — ширина, мм	55γ

Примечания: 1. Приведенные значения (σ_F^0) используются при расчете конструктивных элементов соединений и узлов, имеющих толщину $t_k \leq 20$ мм.

При большей толщине элементов, в которых потенциально возможно зарождение и развитие усталостных повреждений, значения σ_F^0 согласно данным таблицы уменьшаются пропорционально коэффициенту k_F , определяемому по формуле

$$k_F = \left(\frac{20}{t_k} \cdot \frac{L}{120} \right)^{0,20}, \text{ где } L > 120 \text{ м — длина судна.}$$

Для головок полособульбовых профилей балок набора параметр $t_k = 2r$, где r — радиус скругления головки профиля.

2. При использовании данных о значениях σ_F^0 , приведенных в настоящей таблице, применительно к узлам пересечения балок набора определенного вида профиля (полособульбового, таврового), распространение их на другие виды профилей может производиться путем умножения этих данных на коэффициент $k_T = k_T^0/k'_T$,

где k_T^0 — относительная величина концентрационного фактора в узле для профиля, представленного в таблице;

k'_T — этот же параметр для фактически используемого профиля в рассматриваемом узле.

Значения параметра k'_T равны:

для таврового и симметричного полособульбового профиля — 1,0;

для несимметричного полособульбового профиля — 1,1;

для несимметричного углового и полосового профиля — 1,25.

Указанное правило не распространяется на узлы № 13 и 18, потенциальный очаг усталостного повреждения которых не находится на полке профиля.

3. Применение данных таблицы для конструкций из сталей повышенной прочности учитывается в соответствующих расчетных зависимостях НМУ умножением σ_F^0 на величину $\eta^{-0,4}$.

Таблица 3

**Расчетные значения пределов усталостной прочности листовой стали
нормальной прочности²**

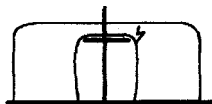
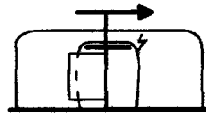
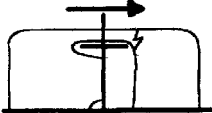
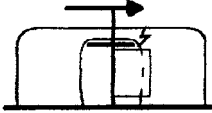
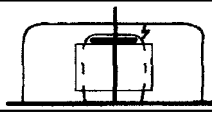
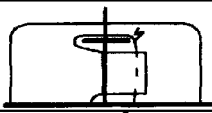
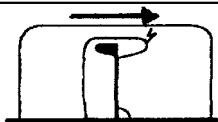
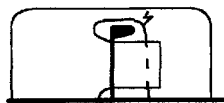
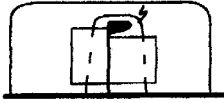
№ п/п	Тип поверхности элемента, для которого оценивается возможность усталостного повреждения	Предел усталостной прочности ¹ σ_F^* , МПа
1	Шлифованные поверхности и кромки листовых элементов	250
2	То же, при образовании кромок машинной газовой резкой	200
3	Поверхность листов с окалиной после проката (кромки зачищены и острые углы скруглены)	180
4	Поверхность листов не обработана и испытывает воздействие коррозионной среды в процессе эксплуатации	150
5	То же (кромки реза листов не обработаны)	120

¹ Толщины элементов $t_k < 20$ мм. При больших толщинах — см. примечание 1 к табл. 2.

² См. примечание 3 к табл. 2.

Таблица 4

Расчетные значения пределов усталостной прочности стенок перекрестных балок из сталей нормальной прочности, ослабленных технологическими вырезами при их сдвиговом поперечном нагружении

Конфигурация узла с указанием типа возможного повреждения	τ_F^0 , МПа
	22
 	25
	30
 	35
 	30
	35
 	40
Примечания: 1. Приведенные значения τ_F^0 относятся к поперечным связям, относительная высота вырезов в которых (по отношению к высоте связей) равна $\bar{h}=0,3$. При других значениях $\bar{h}$ значения τ_F^0 умножаются на величину $k_{\bar{h}}=(0,7/(1-\bar{h}))^{0,5}$. Расчет касательных напряжений производится по отношению к сечению нетто балки с учетом сечений нахлесточных заделок, расположенных со стороны ближайших опорных конструкций. 2. Стрелки над эскизом узла показывают направление ближайшей опоры связи. 3. Ломаная кривая от контура выреза показывает наиболее вероятное место возникновения усталостных трещин. 4. При применении данных таблицы для конструкций из сталей повышенной прочности приведенные значения τ_F^0 умножаются на величину $\eta^{-0,4}$.	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

1. Определение параметров усталостной прочности может производиться на основе экспериментальных данных по усталостной прочности крупномасштабных (близких к натурным) моделей конструктивных узлов, получаемых в условиях их стационарного циклического нагружения.

Если есть основания полагать, что характер нагружения (осевое нагружение или изгиб) не оказывает существенного влияния на вид и число циклов до появления начального усталостного повреждения испытываемых узлов, в целях удобства проведения эксперимента и обобщения его результатов возможно отождествление результатов испытаний при продольном и изгибном нагружениях узлов. При этом в качестве измерителей усталостной прочности в обоих случаях принимаются номинальные значения нормальных напряжений в точке узла, где инициируется первоначальное повреждение (так называемой «горячей точке»). Возможность отождествления результатов испытаний при двух указанных видах нагружения рекомендуется подтверждать результатами сравнительных расчетных оценок коэффициентов концентрации напряжений в «горячей точке» узла с помощью МКЭ. При различии значений этих параметров для продольного и изгибного нагружений оно может быть учтено при обработке результатов испытаний путем введения переходных коэффициентов с одного вида нагружения на другой, определяемых по результатам специальных расчетов влияния вида нагружения на концентрации напряжений.

2. Для повышения достоверности результатов экспериментальной оценки параметров усталостной прочности узлов (значений σ_F^0) целесообразно стремиться к увеличению числа идентичных (идентично оформляемых, изготавливаемых и испытываемых) узлов. Для оценки средних значений их параметра σ_F^0 число испытываемых узлов во всяком случае должно быть не менее трех — четырех. Для оценки при этом статистической изменчивости определяемого параметра желательно, чтобы число таких узлов было не менее шести — семи.

База испытаний по числу циклов нагружения N_e до появления усталостного повреждения узла, которое может рассматриваться в качестве «опасного», как правило должна составлять не менее $N_e \sim 10^5$ (обычно $N_e \sim (1 - 3)10^5$). Частота нагружения, имитирующего воз-

действие волновых нагрузок, должна быть не более 80 — 100 циклов в минуту. Цикл нагружения должен быть возможно более близким к «отнулевому» (при этом показатель асимметрии цикла нагружения $R = Q_{\min}/Q_{\max} \leq 0,1 - 0,15$).

В качестве «опасного» принимается такой размер усталостного повреждения (трещины) узла конструкции, при котором происходит существенное снижение функциональных свойств узла (снижение несущей способности на изгиб или сдвиг на $\sim 10 - 15\%$, разгерметизация помещения при вхождении узла в состав непроницаемой конструкции и т. п.). Для узлов, повреждение которых не связано с разгерметизацией помещений, в качестве опасного (критического) размера повреждений (трещины) может быть принято отношение потерянной в результате повреждения площади сечения несущего элемента балки (свободного пояса или стенки) к полной площади этого элемента. Величина этого соотношения принимается равной $\sim 10 - 15\%$.

3. Расчетная оценка значений σ_F^0 , соответствующих числу циклов нагружения $N_F = 2 \cdot 10^6$, по результатам испытаний, получаемым при меньших значениях N_e , производится согласно зависимости

$$\sigma_F^0 = (N_e/N_F)^{1/m_F} \Delta \sigma_e, \quad (3-1)$$

где $\Delta \sigma_e$ — размах номинальных значений нормальных напряжений в «горячей точке» в процессе испытаний рассматриваемого узла в составе опытной конструкции, МПа;

m_F — показатель степени аппроксимации оцениваемой кривой усталостной прочности узла, который может быть вычислен по формуле

$$m_F = 2,9 + 0,014 \sigma_F^0. \quad (3-2)$$

Значения σ_F^0 и m_F оцениваются согласно указанным зависимостям расчетом путем последовательных приближений. В первом приближении величина $m_F \sim 3,5$.

При отличии цикла нагружения от отнулевого ($R \neq 0$) оно учитывается путем увеличения расчетного значения σ_F^0 пропорционально коэффициенту

$$k_R = 1 + 0,5 R \bar{\sigma}_{\max}, \quad (3-3)$$

где $\bar{\sigma}_{\max} = (\sigma_{\max}/650)(235/\sigma_T^H)^{2/3}$;

$\sigma_{\max}$ — номинальная величина максимума цикла напряжений при испытаниях, МПа.

4. Влияние статистического разброса результатов испытаний на расчетные значения параметра σ_F^0 учитывается при анализе результатов и получении итоговых выводов следующим образом.

При испытании опытных конструкций, включающих несколько идентичных и одинаково нагружаемых k -узлов, обычно удается довести

испытания до появления «опасных» повреждений только часть (r) из этих узлов ($r < k$). Продолжению испытаний в подобных условиях обычно препятствует то обстоятельство, что развитие разрушений в поврежденных узлах может заметно изменить условия нагружения остальных узлов, еще не получивших опасных повреждений.

В указанных условиях среднее значение оцениваемого параметра прочности определяется согласно выражению

$$\bar{\sigma}_F^0 = \bar{\sigma}_F^0 + v_{r/k} s_{\sigma}. \quad (4-1)$$

Здесь $\bar{\sigma}_F^0$ — среднеарифметическая величина оцениваемого параметра, установленная по результатам испытаний r -узлов, получивших опасные повреждения;

$v_{r/k}$ — коэффициент, зависящий от соотношения r/k , график значения которого приведен на рис. 4.

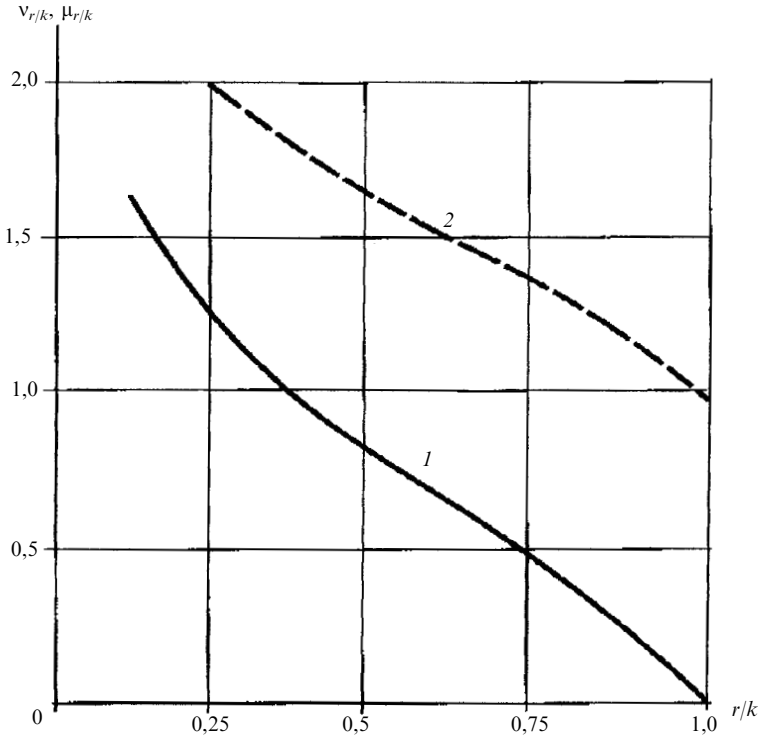


Рис. 4
Значения коэффициентов $v_{r/k}(1)$ и $\mu_{r/k}(2)$

s_σ — среднеквадратичное отклонение величины σ_F^0 , определяемое согласно выражению

$$s_\sigma = \mu_{r/k} \tilde{s}_\sigma, \quad (4-2)$$

$$\text{где } \tilde{s}_\sigma = \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (\sigma_{Fi}^0 - \tilde{\sigma}_F^0)^2};$$

$\mu_{r/k}$ — коэффициент, график значений которого приведен на рис. 4.

В тех случаях, когда число зафиксированных результатов испытаний r -узлов недостаточно для достоверности оценки величины $\tilde{\sigma}_F^0$ и s_σ ($r < 5 - 6$), значение последнего параметра может приниматься ориентировочно равным

$$s_\sigma \approx 0,12 \tilde{\sigma}_F^0. \quad (4-3)$$

В качестве итогового расчетного значения оцениваемого описанным способом параметра усталостной прочности узла σ_F^0 принимается его практически возможное минимальное значение, которое с учетом разброса результатов испытаний (с обеспеченностью $\sim 97\%$) считается равным

$$\sigma_F^0 = (\sigma_F^0)_{\min} = \bar{\sigma}_F^0 - 2s_\sigma. \quad (4-4)$$

Расчетная оценка значений τ_F^0 на основе результатов испытаний усталостной прочности производится при использовании принципов и зависимостей, аналогичных описанным выше применительно к параметру σ_F^0 . Основные отличия в данном случае сводятся к следующему.

В формулах п. 3 и 4 параметры действующих нормальных напряжений заменяются параметрами касательных напряжений.

В формуле (3-2) параметр σ_F^0 заменяется на $\sqrt{3}\tau_F^0$.

Вместо выражения (4-4) используется выражение

$$\tau_F^0 = (\tau_F^0)_{\min} = \bar{\tau}_F^0 - 2s_\tau, \quad (4-5)$$

где s_τ — среднеквадратичное отклонение величины τ_F^0 , которое рассчитывается по формуле

$$s_\tau = 0,12 \bar{\tau}_F^0. \quad (4-6)$$

При толщинах элементов и значениях предела текучести R_{eH} материала узлов испытываемых опытных конструкций, отличающихся от натуральных конструкций, на которые распространяются результаты определяемых описанным способом значений σ_F^0 и τ_F^0 , указанные отличия должны учитываться с помощью поправочных коэффициентов, приведенных в примечаниях к табл. 2 и 4 приложения 2.

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ ПЛАВУЧИХ ПОЛУПОГРУЖНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Нормативно-методические указания по определению технического состояния корпусов плавучих полупогружных буровых установок разработаны ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (руководители разработки — О. Е. Литонов, С. В. Вербицкий) по заказу Регистра и предназначены для определения технического состояния корпусов плавучих полупогружных буровых установок по результатам сопоставления величин параметров корпусных конструкций с дефектами, определенными при дефектации, с нормативами, определенными в соответствии с настоящими Указаниями.

Нормативно-методические указания издаются впервые.

1. НАЗНАЧЕНИЕ

1.1. ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

1.1.1 Настоящие Нормативно-методические указания¹ устанавливают положения по определению технического состояния и рекомендации по ремонту корпусов плавучих полупогружных буровых установок (ППБУ) типа «Шельф» в эксплуатации, находящихся под надзором Регистра.

Распространение настоящих Указаний на морские платформы других типов является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

1.1.2 Положения Указаний установлены из условия обеспечения безопасной эксплуатации корпуса ППБУ в течение 5 лет между очередными освидетельствованиями.

1.1.3 Указания дополняют следующие документы Регистра:

Руководство по техническому надзору за плавучими буровыми установками эксплуатации²;

Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ³.

1.1.4 Применение Указаний обязательно при определении технического состояния корпуса ППБУ.

1.1.5 Применение Указаний рекомендуется при разработке специальных норм допускаемых износов и деформаций для корпуса ППБУ, позволяющих произвести уточненную оценку технического состояния его конструкций. Специальные нормы подлежат согласованию с Регистром.

1.1.6 При определении технического состояния корпусов ППБУ рассматриваются следующие дефекты элементов их корпуса:

износы,
остаточные деформации,
трещины,
разрывы.

1.1.6.1 В Указаниях регламентируются следующие виды износов:
общий,
местный,
язвенный.

¹ В дальнейшем — Указания.

² В дальнейшем — Руководство.

³ В дальнейшем — Правила ПБУ/МСП.

В Указаниях регламентируются следующие разновидности местного износа:

износ пятнами,
канавочный износ.

1.1.6.2 В Указаниях регламентируются следующие виды остаточных деформаций:

бухтины,
гофрировки,
вмятины,
выпучины.

1.1.7 В отдельных случаях, при наличии согласованных с Регистром обоснований, допускаются отступления от настоящих Указаний.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ

1.2.1 В Указаниях приняты следующие определения.

Балка набора — балка основного или рамного набора.

Бухтина — остаточный прогиб отдельного участка листа между балками набора (см. рис. 1.2.1-1).

Вмятина — остаточный прогиб листа или его участка совместно с балками набора (см. рис. 1.2.1-1).

Вмятина в раскосе — остаточная деформация обшивки раскоса в той части конструкции, где он представляет собою цилиндрическую оболочку, не подкрепленную балками набора. Этот вид остаточных деформаций в раскосах не допускается классифицировать как бухтина или гофрировка.

Выпучина — остаточный прогиб участка стенки балки набора или участка другой листовой конструкции (например, обшивки переборки) в районе вмятины (см. рис. 1.2.1-1).

Гофрировка — остаточные прогибы нескольких смежных участков листа между балками набора (см. рис. 1.2.1-1).

Дефект — изменение размеров, формы или нарушение целостности элемента корпуса в процессе эксплуатации ППБУ.

Дефектация — освидетельствование элементов корпуса для установления видов дефектов в них, сопровождающееся инструментальным определением и регистрацией численных параметров дефектов.

Деформация остаточная — изменение первоначальной формы элемента корпуса в процессе эксплуатации ППБУ вследствие перегрузок или износов.

Износ — уменьшение толщины элемента корпуса в процессе эксплуатации ППБУ вследствие коррозии и/или истирания.

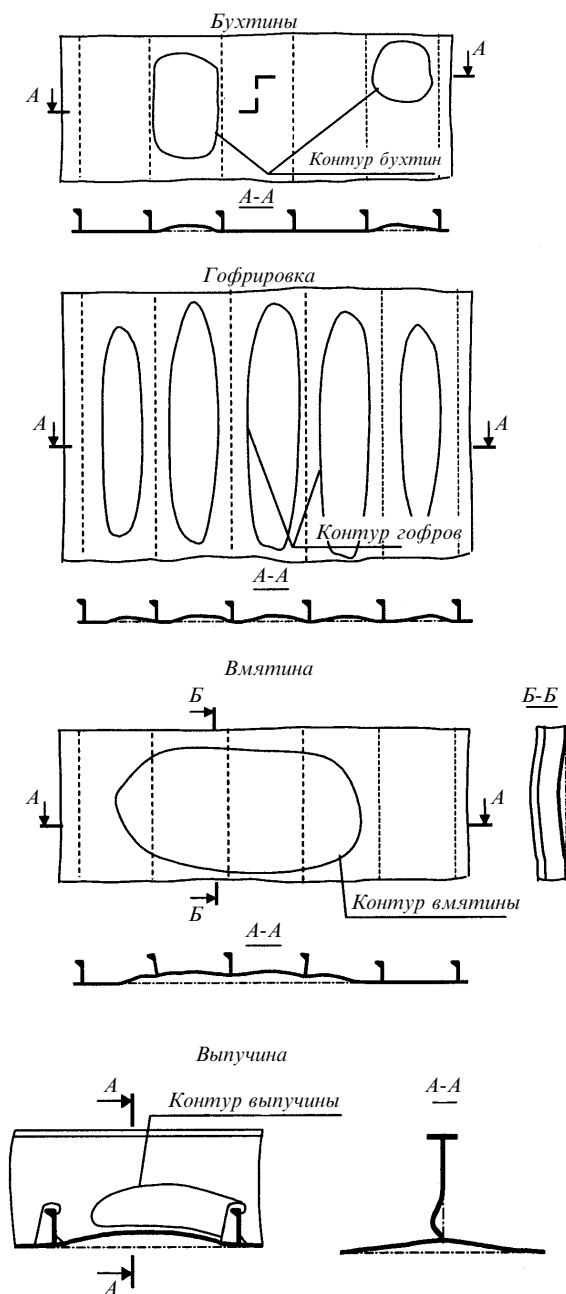


Рис. 1.2.1-1
Виды остаточных деформаций

Износ канавочный — уменьшение толщины листа или элемента набора в виде канавки (см. рис. 1.2.1-2).

Износ местный — уменьшение толщины отдельных участков элемента корпуса.

Износ общий — примерно одинаковое уменьшение толщины всего элемента корпуса (см. рис. 1.2.1-2).

Износ пятнами — уменьшение толщины листа или элемента набора на отдельных участках (см. рис. 1.2.1-2).

Износ язвенный — локальное уменьшение толщины элемента корпуса в виде отдельных питтингов, раковин и т. п. (см. рис. 1.2.1-2).

Конструкция корпусная — настоящий термин применим в отдельности к понтонам, стабилизирующим колоннам, раскосам, верхнему корпусу.

Конструкция соединительная — конструкция, состоящая, как правило, из листов с подкрепляющим набором, обеспечивающая соединение корпусных конструкций: раскоса с раскосом, раскоса со стабилизирующей колонной, раскоса с понтоном, раскоса с верхним корпусом и т.п.

Корпус ППБУ — понтоны, стабилизирующие колонны, раскосы, верхний корпус и соединительные конструкции.

Лист — ограниченный сварными швами элемент обшивки или настила.

Повреждение — дефект, параметры которого не удовлетворяют нормативам.

Подкрепление местное — ребро жесткости, кница и бракета, обеспечивающие прочность, жесткость и устойчивость ячейки листа и элемента набора.

Разрыв — нарушение целостности элемента корпуса в процессе эксплуатации ППБУ вследствие исчерпания запаса пластичности материала.

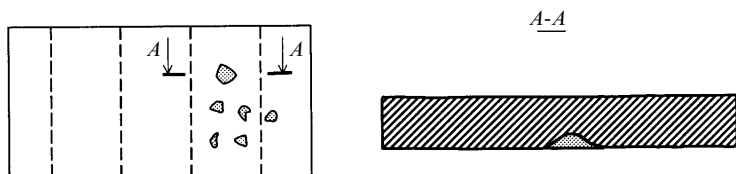
Связи верхнего корпуса несущие — продольные и поперечные связи верхнего корпуса, являющиеся непрерывными по длине или ширине верхнего корпуса и состоящие из переборки (борта, транца), опорной балки и настилов палуб в пределах присоединенных поясков. Поперечное сечение несущих связей верхнего корпуса может изменяться вдоль их длины (см. рис. 1.2.1-3).

Средство измерения — техническое средство, предназначенное для замера параметров дефектов и имеющее нормированные метрологические свойства.

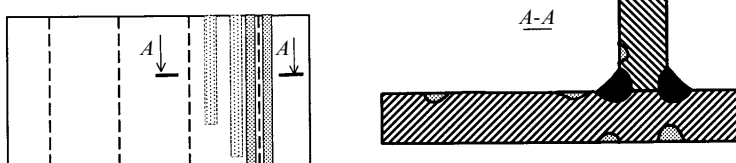
Толщина остаточная — толщина элемента корпуса, полученная на основании замеров.

Толщина построечная — первоначальная толщина элемента корпуса, указанная на отчетных чертежах корпуса ППБУ.

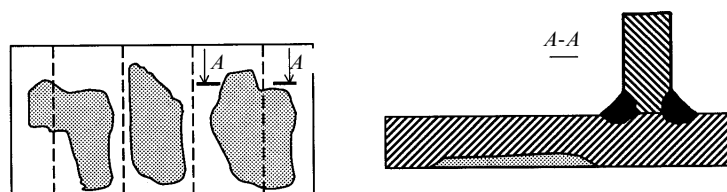
Язвенный износ



Канавочный износ



Износ пятнами



Общий износ

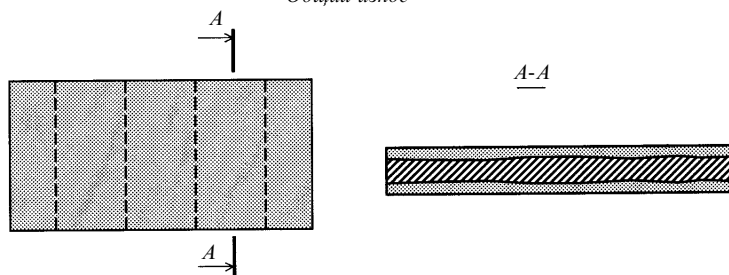


Рис. 1.2.1-2
Виды износов

Трещина — нарушение целостности элемента корпуса в процессе эксплуатации ППБУ вследствие усталости материала.

Элемент корпуса — лист или участок листа обшивки, настила, составной сварной и катаный набор, элемент обшивки или настила вместе с набором, сварной шов, соединительный элемент, местное подкрепление и т. п.

Элемент набора — стенка, свободный поясok балки набора.

Элемент соединительный — элемент, обеспечивающий соединение балок набора корпуса (кница, бракета, заделка, накладная планка и т. п.).

1.2.2 Определения, не упомянутые в настоящей главе, приводятся в Правилах ПБУ/МСП и Руководстве.

2. УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1 Настоящий раздел регламентирует определение технического состояния корпуса и его элементов в зависимости от обнаруженных дефектов во время освидетельствования ППБУ.

2.1.2 Техническое состояние корпуса — совокупность параметров, определяющих прочность, жесткость, непроницаемость корпуса и изменяющихся вследствие возникновения и развития дефектов в процессе эксплуатации ППБУ.

2.1.3 Техническое состояние корпуса определяется по результатам сопоставления величин параметров его элементов с дефектами, определенных по результатам дефектации в соответствии с разд. 3, с нормативами, установленными разд. 4. Устанавливаются следующие виды технического состояния корпуса ППБУ:

1 «ГОДЕН» — для корпуса ППБУ, численные параметры элементов с дефектами которого удовлетворяют в совокупности нормативам, определенным для существующего класса ППБУ;

2 «ГОДЕН С ОГРАНИЧЕНИЯМИ» — для корпуса ППБУ, численные параметры элементов с дефектами которого удовлетворяют в совокупности нормативам, определенным для ограниченной по сравнению с существующим классом периодичности освидетельствования ППБУ;

3 «НЕ ГОДЕН» — для корпуса ППБУ, численные параметры элементов с дефектами которого не удовлетворяют нормативам,

определенным для существующего класса или для ограниченной по сравнению с ним периодичности освидетельствования ППБУ.

Элементы корпуса, не удовлетворяющие нормативам, подлежат ремонту. При выполнении ремонта корпуса рекомендуется руководствоваться положениями разд. 5.

2.1.4 Определение технического состояния корпуса ППБУ производится периодически в сроки и объемах, определенных Правилами ПБУ/МСП и Руководством.

2.1.5 Для определения вида технического состояния корпуса необходимо проверить следующие элементы понтонов, стабилизирующих колонн, раскосов, верхнего корпуса и соединительных конструкций на соответствие положениям гл. 2.2 — 2.4:

- листы,
- балки набора,
- сварные швы,
- соединительные элементы,
- местные подкрепления.

Дополнительно, в соответствии с требованиями 2.2.1 и 2.3.2, необходимо проверить поперечные сечения следующих конструкций:

- стабилизирующих колонн,
- горизонтальных поперечных и наклонных поперечных раскосов,
- поперечных несущих связей верхнего корпуса.

Условия гл. 2.2 — 2.4 сформулированы для видов технического состояния «ГОДЕН» и «ГОДЕН С ОГРАНИЧЕНИЯМИ» в зависимости от нормативов, установленных в соответствии с разд. 4.

2.1.6 Результаты оценки технического состояния корпуса должны быть оформлены судовладельцем в виде отчета, принятого Регистром к сведению. В отчете должна содержаться следующая информация:

- общие данные о ППБУ;

- результаты проверки характеристик поперечного сечения конструкций с указанием остаточных и допускаемых характеристик;

- таблица элементов корпуса с построечными толщинами, коэффициентами для определения допускаемых остаточных толщин при общем и местном износах и величинами этих толщин, остаточными толщинами при общем и местном износах по результатам дефектации корпуса, заключением о необходимости ремонта, предлагаемым методом ремонта;

- сведения о язвенном износе, износе сварных швов, нормативных величинах остаточных толщин для них, заключение о необходимости выполнения ремонта, метод ремонта;

- сведения об остаточных деформациях элементов корпуса, нормативных величинах параметров деформаций, заключение о необходимости выполнения ремонта, метод ремонта;

сведения о трещинах и разрывах в элементах корпуса и предлагаемые методы их ремонта.

В комментариях к таблицам указываются:

номера отчетных чертежей, в соответствии с которыми в таблицах приведены построечные толщины элементов корпуса;

номер (если имеется) и название документа (если имеется) в соответствии с 4.1.7, название организации, его выпустившей, в соответствии с которым в таблице приведены нормативы для элементов корпуса с дефектами, а также дата и номер письма Регистра о его согласовании;

номер (если имеется) и наименование отчета в соответствии с 3.1.8, название организации, его выпустившей, в соответствии с которым в таблицах приведены параметры элементов корпуса с дефектами, а также дата его согласования Регистром;

заключение о техническом состоянии корпуса ППБУ;

место и дата ремонта корпуса в случае его выполнения.

Таблицы должны быть приняты Регистром к сведению с постановкой соответствующего штампа на титульном листе. С целью упрощения подготовки отчетной документации и избежания повторений допускаются различные комбинации таблиц. При любом оформлении документация должна содержать всю указанную выше информацию.

2.1.7 Техническое состояние корпуса должно быть зафиксировано инспекцией Регистра в акте освидетельствования корпуса. Акт оформляется в соответствии с установленной в Регистре процедурой.

2.1.8 Комплект отчетных документов по техническому состоянию корпуса ППБУ, требуемых Указаниями и Руководством, должен храниться на ППБУ, у владельца ППБУ и в инспекции Регистра, ведущей надзор за ППБУ и/или ее ремонтом.

2.2. КОНСТРУКЦИИ С ИЗНОСАМИ

2.2.1 Характеристики поперечного сечения конструкций.

2.2.1.1 Проверка характеристик поперечных сечений должна выполняться для следующих конструкций:

горизонтальных поперечных и наклонных поперечных раскосов (см. рис. 2.2.1.1);

поперечных несущих связей верхнего корпуса (см. рис. 1.2.1-3).

Для стабилизирующих колонн проверка характеристик поперечных сечений может не выполняться.

Нос

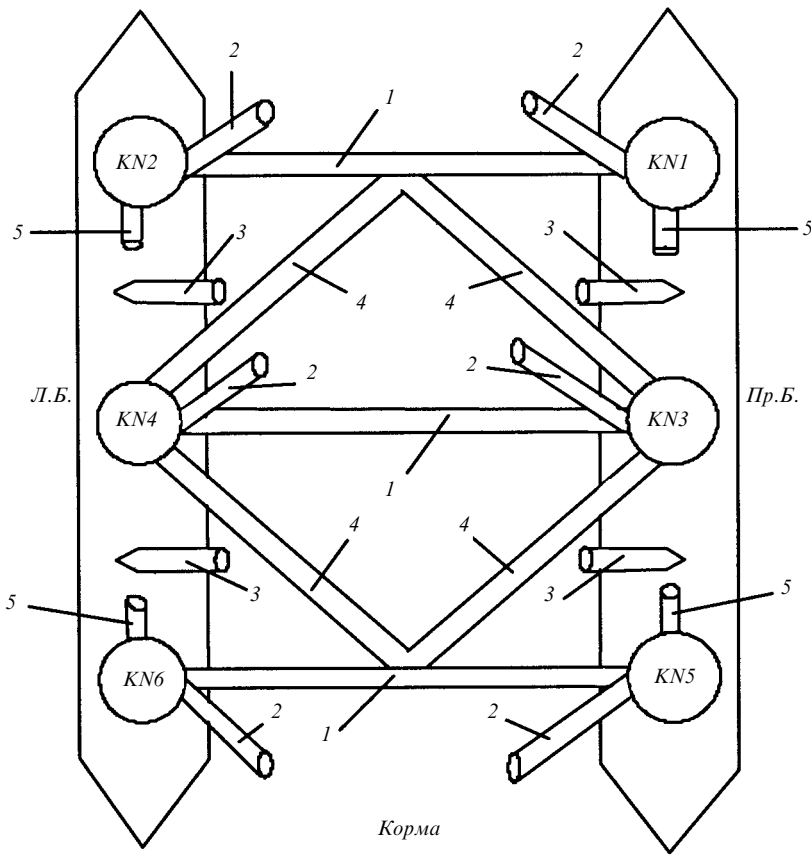


Рис. 2.2.1.1

Схема расположения раскосов:
 1 — горизонтальные поперечные;
 2, 3 — наклонные поперечные;
 4 — горизонтальные диагональные;
 5 — наклонные продольные

2.2.1.2 Поперечное сечение указанных в 2.2.2.1 раскосов в любом районе его пролета должно удовлетворять условию

$$S_p \geq [S_p], \quad (2.2.1.2)$$

где S_p — средняя остаточная толщина в поперечном сечении раскоса, определяемая в соответствии с 3.2.2;

$[S_p]$ — допускаемая средняя остаточная толщина в поперечном сечении раскоса, определяемая в соответствии с 4.2.1.1.

2.2.1.3 Поперечное сечение поперечных несущих связей верхнего корпуса в любом районе по длине связи должно одновременно удовлетворять следующим условиям:

$$W_{св} \geq [W_{св}], \quad (2.2.1.3)$$

$$S_{п} \geq [S_{п}],$$

где $W_{св}$, $S_{п}$ — остаточный момент сопротивления поперечного сечения с присоединенными поясками для верхней палубы и нижнего пояса опорной балки и средняя остаточная толщина обшивки переборки несущих связей верхнего корпуса, определяемые в соответствии с 3.2.2;

$[W_{св}]$, $[S_{п}]$ — допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения для верхней палубы и нижнего пояса опорной балки и допускаемая средняя остаточная толщина обшивки переборки несущих связей верхнего корпуса, определяемые в соответствии с 4.2.1.2 и 4.2.1.3.

2.2.2 Листы.

2.2.2.1 При общем износе лист должен удовлетворять условию

$$S_1 \geq [S_1], \quad (2.2.2.1)$$

где S_1 — средняя остаточная толщина листа, определяемая в соответствии с 3.2.3.1;

$[S_1]$ — допускаемая остаточная толщина листа, определяемая в соответствии с 4.2.2.1.

2.2.2.2 При местном износе участок листа должен удовлетворять условию

$$S_3 \geq [S_3], \quad (2.2.2.2)$$

где S_3 — средняя остаточная толщина участка листа, определяемая в соответствии с 3.2.3.2;

$[S_3]$ — допускаемая остаточная толщина участка листа, определяемая в соответствии с 4.2.2.2.

2.2.2.3 При язвенном износе лист должен удовлетворять условию

$$S_4 \geq [S_4], \quad (2.2.2.3)$$

где S_4 — остаточная толщина листа в язвине, определяемая в соответствии с 3.2.3.3;

$[S_4]$ — допускаемая остаточная толщина листа в язвине, определяемая в соответствии с 4.2.2.3.

2.2.3 Балки набора.

2.2.3.1 При общем износе поперечное сечение балки набора должно удовлетворять следующим условиям:

$$W_n \geq [W_n], \quad (2.2.3.1)$$

$$S_1 \geq [S_1],$$

где W_n , S_1 — остаточный момент сопротивления поперечного сечения с присоединенным пояском и средняя остаточная толщина стенки балки набора, определяемые в соответствии с 3.2.4.1;

$[W_n]$, $[S_1]$ — допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения и допускаемая остаточная толщина стенки балки набора, определяемые в соответствии с 4.2.3.1 и 4.2.3.2.

2.2.3.2 При местном износе участок элемента набора должен удовлетворять условию

$$S_3 \geq [S_3], \quad (2.2.3.2)$$

где S_3 — средняя остаточная толщина участка элемента набора, определяемая в соответствии с 3.2.4.2;

$[S_3]$ — допускаемая остаточная толщина участка элемента набора, определяемая в соответствии с 4.2.3.3.

2.2.3.3 При язвенном износе элемент набора должен удовлетворять условию

$$S_4 \geq [S_4], \quad (2.2.3.3)$$

где S_4 — остаточная толщина элемента набора в язвине, определяемая в соответствии с 3.2.4.3;

$[S_4]$ — допускаемая остаточная толщина элемента набора в язвине, определяемая в соответствии с 4.2.3.4.

Настоящее положение применимо только к балкам набора, обеспечивающим непроницаемость конструкций.

2.2.4 Сварные швы.

2.2.4.1 При износе на протяжении свыше 0,3 м сварные швы, состояние которых устанавливается в соответствии с 3.2.5.1, должны удовлетворять положениям 4.2.4.1.

2.2.4.2 При износе на протяжении от 0,1 до 0,3 м сварные швы должны удовлетворять условию

$$S_3 \geq [S_3], \quad (2.2.4.2)$$

где S_3 — средняя остаточная толщина сварного шва, определяемая в соответствии с 3.2.5.2;

$[S_3]$ — допускаемая остаточная толщина сварного шва, определяемая в соответствии с 4.2.4.2.

2.2.4.3 При износе на протяжении до 0,1 м сварные швы должны удовлетворять условию

$$S_4 \geq [S_4], \quad (2.2.4.3)$$

где S_4 — остаточная толщина сварного шва, определяемая в соответствии с 3.2.5.3;

$[S_4]$ — допускаемая остаточная толщина сварного шва, определяемая в соответствии с 4.2.4.3.

2.2.5 Соединительные элементы и местные подкрепления.

2.2.5.1 При общем износе соединительные элементы, состояние которых устанавливается в соответствии с 3.2.6, должны удовлетворять соответствующим положениям Указаний для подкрепляемых ими балок набора.

Местный и язвенный износы соединительных элементов не регламентируются.

2.2.5.2 При общем износе местные подкрепления должны удовлетворять условию

$$S_1 \geq [S_1], \quad (2.2.5.2)$$

где S_1 — средняя остаточная толщина местного подкрепления, определяемая в соответствии с 3.2.6;

$[S_1]$ — допускаемая остаточная толщина местного подкрепления, определяемая в соответствии с 4.2.5.

Местный и язвенный износы местных подкреплений не регламентируются.

2.3. КОНСТРУКЦИИ С ДЕФОРМАЦИЯМИ

2.3.1 Общие требования к остаточным деформациям.

2.3.1.1 Остаточные деформации не допускаются:

в опорных балках поперечных несущих связей верхнего корпуса;

на участках переборок поперечных несущих связей верхнего корпуса, имеющих высоту менее половины высоты верхнего корпуса;

в раскосах в районах соединительных конструкций, а также на расстоянии не более радиуса поперечного сечения раскоса от окончания соединительной конструкции;

в соединительных конструкциях.

2.3.1.2 Прогрессирующие остаточные деформации в элементах корпуса не допускаются.

2.3.2 Характеристики поперечного сечения конструкций.

2.3.2.1 Проверка характеристик поперечных сечений должна выполняться для следующих конструкций:

стабилизирующих колонн;

поперечных несущих связей верхнего корпуса (см. рис. 1.2.1-3)

2.3.2.2 Обшивка стабилизирующих колонн с подкрепляющим набором в любом поперечном сечении по высоте стабилизирующей колонны должна удовлетворять следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k} \leq [\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}], \quad (2.3.2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n l_{i_k} \leq [\sum_{i=1}^n l_{i_k}],$$

где l_{i_k} — протяженность i -ой бухтины, гофра или вмятины в поперечном сечении стабилизирующей колонны;

m — число бухтин и гофр в поперечном сечении;

n — число вмятин в поперечном сечении;

$\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}$ — суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин в поперечном сечении стабилизирующей колонны, определяемая в соответствии с 3.3.2;

$\sum_{i=1}^n l_{i_k}$ — суммарная протяженность вмятин в поперечном сечении колонны, определяемая в соответствии с 3.3.2;

$[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}]$ — допускаемая суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин в поперечном сечении колонны, определяемая в соответствии с 4.3.1.1;

$[\sum_{i=1}^n l_{i_k}]$ — допускаемая суммарная протяженность вмятин в поперечном сечении колонны, определяемая в соответствии с 4.3.1.1.

2.3.2.3 Настил верхней палубы в пределах присоединенного пояса, обшивка переборки с подкрепляющим набором в любом поперечном сечении по длине поперечных несущих связей верхнего корпуса должны удовлетворять следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}} \leq [\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}], \quad (2.3.2.3)$$

$$\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}} \leq [\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}],$$

где $l_{i_{в.к.}}$ — протяженность i -ой бухтины, гофра или вмятины по ширине присоединенного пояса или высоте переборки поперечных несущих связей верхнего корпуса;

m, n — см. 2.3.2.2;

$\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}, \sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}$ — суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин и суммарная

протяженность вмятин по ширине присоединенного пояса или высоте переборки поперечных несущих связей верхнего корпуса, определяемые в соответствии с 3.3.2;

$[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}], [\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}]$ — допускаемая суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин и

допускаемая суммарная протяженность вмятин по ширине присоединенного пояса или высоте переборки поперечных несущих связей верхнего корпуса, определяемые в соответствии с 4.3.1.2.

2.3.3 Бухтины и гофрировки.

2.3.3.1 Положения настоящего раздела распространяются на понтоны, стабилизирующие колонны и верхний корпус (см. также определение «Вмятина в раскосе», указанное в 1.2.1).

2.3.3.2 Конструкции с бухтинами или гофрировками с максимальными стрелками прогиба 25 мм и менее не требуют дальнейших измерений, оценки и ремонта.

2.3.3.3 Конструкции с бухтинами и гофрировками должны удовлетворять условию

$$f_0/b_{\min} \leq [f_0/b_{\min}], \quad (2.3.3.3)$$

где f_0 — максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) в бухтине или гофре, определяемая в соответствии с 3.3.3.1;

$b_{\min}$ — минимальный размер бухтины или гофра в плане, определяемый в соответствии с 3.3.3.2;

$[f_0/b_{\min}]$ — допускаемая относительная стрелка прогиба, определяемая в соответствии с 4.3.2.

2.3.4 Вмятины и выпучины в понтонах, стабилизирующих колоннах и верхнем корпусе.

2.3.4.1 Конструкции с вмятиной с максимальной стрелкой прогиба 25 мм и менее не требуют дальнейших измерений, оценки и ремонта.

2.3.4.2 Балки набора при отсутствии выпучины и прилегающая к ним обшивка (настил) в районе вмятины должны одновременно удовлетворять следующим условиям:

$$f_6/l \leq [f_6/l],$$

$$f_0/b_{\min} \leq [f_0/b_{\min}], \quad (2.3.4.2)$$

$$d \leq [d],$$

где f_6 — максимальная стрелка прогиба балки набора во вмятине, определяемая в соответствии с 3.3.4.1;

l — длина деформированного участка балки набора, определяемая в соответствии с 3.3.4.1;

f_0 — максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине, определяемая в соответствии с 3.3.4.2;

$b_{\min}$ — минимальный размер вмятины в плане, определяемый в соответствии с 3.3.4.2;

d — отклонение стенки балки набора от первоначального положения, определяемое в соответствии с 3.3.4.3;

$[f_6/l]$ — допускаемая относительная стрелка прогиба балки набора, определяемая в соответствии с 4.3.3.1;

$[f_0/b_{\min}]$ — допускаемая относительная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине, определяемая в соответствии с 4.3.3.2;

$[d]$ — допускаемое отклонение стенки балки набора, определяемое в соответствии с 4.3.3.3.

2.3.4.3 Балки набора с выпучинами, а также другие листовые конструкции с выпучинами, соединяющиеся с обшивкой (настилом), получившей остаточную деформацию, должны удовлетворять условию

$$f_0/b_{\min} \leq [f_0/b_{\min}], \quad (2.3.4.3)$$

где f_0 — максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине с выпучиной, определяемая в соответствии с 3.3.4.4;

$b_{\min}$ — минимальный размер вмятины с выпучиной в плане, определяемый в соответствии с 3.3.4.4;

$[f_0/b_{\min}]$ — допускаемая относительная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине с выпучиной, определяемая в соответствии с 4.3.3.4.

2.3.5 Вмятины в раскосах.

2.3.5.1 Вмятины в раскосах с максимальной стрелкой прогиба менее 1,5 толщин обшивки и протяженностью менее радиуса поперечного сечения раскоса, расположенные на расстоянии более радиуса поперечного сечения от окончания соединительной конструкции, не требуют дальнейших измерений, оценки и ремонта.

2.3.5.2 Вмятины в раскосах должны одновременно удовлетворять следующим условиям:

$$l_p \leq [l_p], \quad (2.3.5.2)$$

$$f_p \leq [f_p],$$

где l_p — длина группы вмятин вдоль раскоса, определяемая в соответствии с 3.3.5.1;

f_p — стрелка прогиба группы вмятин, определяемая в соответствии с 3.3.5.2;

$[l_p]$ — допускаемая длина группы вмятин вдоль раскоса, определяемая в соответствии с 4.3.4.1;

$[f_p]$ — допускаемая стрелка прогиба группы вмятин, определяемая в соответствии с 4.3.4.2.

2.3.6 Сварные швы, соединительные элементы и местные подкрепления.

2.3.6.1 Сварные швы конструкций с остаточными деформациями должны удовлетворять соответствующим положениям Указаний для этих конструкций.

2.3.6.2 В соединительных элементах и в местных подкреплениях остаточные деформации регламентируются на основании опыта надзора.

2.4. КОНСТРУКЦИИ С ТРЕЩИНАМИ И РАЗРЫВАМИ

Трещины и разрывы в конструкциях понтонов, стабилизирующих колонн, раскосов, верхнего корпуса и соединительных конструкциях не допускаются.

3. ДЕФЕКТАЦИЯ КОРПУСА

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1.1 Настоящий раздел регламентирует дефектацию корпуса для определения его технического состояния в соответствии с условиями разд. 2.

3.1.2 Положения настоящего раздела регламентируют порядок замеров параметров элементов корпуса с дефектами, обнаруженными во время осмотров/освидетельствований корпуса.

3.1.3 Сроки и объем дефектации корпуса регламентируются Руководством. Сроки и объем дефектации могут быть уточнены Регистром в зависимости от технического состояния ППБУ.

3.1.4 Дефектация корпуса может быть выполнена:

на ППБУ, находящейся на плаву при рабочей осадке. В этом случае большинство ответственных конструкций будет находиться в погруженном состоянии, и для их обследования необходимо использовать современные технические средства подводного контроля;

на ППБУ, находящейся на плаву при осадке, соответствующей режиму транспортировки. В этом случае большинство ответственных конструкций будет находиться в атмосферной зоне. Использование современных технических средств подводного контроля потребуется только лишь для обследования бортов и днища понтонов;

на ППБУ, находящейся в доке.

Рекомендуется выполнять дефектацию на ППБУ, находящейся на плаву при осадке, соответствующей режиму транспортировки.

3.1.5 Дефектация корпуса должна выполняться организациями или группами, признанными Регистром.

3.1.6 Корпус должен быть подготовлен владельцем ППБУ для дефектации: изоляция и зашивка вскрыты и демонтированы, продукты коррозии удалены с замераемых поверхностей, подготовлены леса и другие средства для доступа к замераемым конструкциям и т. п.

3.1.7 Метрологические свойства применяемых средств измерений должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов, согласованных Регистром.

3.1.8 Результаты дефектации корпуса должны быть оформлены в виде отчета вместе с чертежами конструкций и соответствующих таблиц в объеме, определенном в гл. 3.2 — 3.4. Рекомендуется руководствоваться Инструкцией по определению технического состоя-

ния, обновлению и ремонту корпусов морских судов¹ и приложением настоящих Указаний.

На чертежах и таблицах должны стоять подпись и штамп инспектора Регистра. Один экземпляр отчета дефектации корпуса должен быть передан в Регистр, другой — храниться на ППБУ, третий — у владельца ППБУ.

Одновременно рекомендуется представлять в Регистр результаты дефектации корпуса в электронном виде на дискетах.

3.2. КОНСТРУКЦИИ С ИЗНОСАМИ

3.2.1 Обследование конструкций.

3.2.1.1 Состояние конструкций с износами характеризуется остаточными толщинами, которые определяются на основании замеров.

3.2.1.2 При освидетельствовании ППБУ вид износа элемента корпуса устанавливается визуально, исходя из опыта надзора, а также на основании выборочных замеров остаточных толщин.

3.2.1.3 Остаточные толщины элементов корпуса должны, как правило, определяться методами неразрушающего контроля. Измерение остаточных толщин допускается производить толщиномером, штангенциркулем, микрометром или другими одобренными средствами измерений.

Точность измерений толщин элементов корпуса должна быть не менее 0,1 мм.

Измерения глубины язвин выполняются с помощью глубиномера, индикатора часового типа или иными подобными приборами с точностью не менее 0,1 мм.

3.2.1.4 Результаты измерений рекомендуется оформлять в виде таблиц по формам 2.1-1 и 2.1-2 приложения, а также чертежей растяжки наружной обшивки, планов палуб, платформ, переборок корпусных конструкций с указанием замеров на листах, балках набора, сварных швах.

Результаты замеров остаточных толщин в соединительных конструкциях, соединительных элементах и местных подкреплениях могут быть оформлены в произвольной форме.

3.2.1.5 Обследование изношенных элементов корпуса выполняется с учетом особенностей эксплуатации конструкции и опыта надзора. Обследование выполняется в первую очередь в районах, которые потенциально подвержены более интенсивной общей и местной

¹ См. Бюллетень изменений и дополнений № 1 к Правилам классификационных освидетельствований судов, приложение 2. В дальнейшем — Инструкция.

коррозии по причине агрессивности среды, отпотевания, недостаточной вентиляции, постоянной сырости и т. п.

Кроме того, рекомендуется выполнять измерения остаточных толщин элементов корпуса там, где по опыту эксплуатации отмечались повышенные износы: на поверхностях, где возможен застой воды; на элементах корпуса, имеющих более тонкие построечные толщины; а также в районах, где по результатам общего визуального осмотра обнаружено указание на сильную коррозию.

При выполнении обследования изношенных элементов корпуса ППБУ рекомендуется принимать во внимание опыт обследования морских судов.

3.2.2 Характеристики поперечного сечения конструкций.

3.2.2.1 Для определения характеристик, таких как:

средняя остаточная толщина в поперечном сечении раскоса S_p , мм, остаточный момент сопротивления поперечного сечения несущей связи верхнего корпуса для верхней палубы и нижнего пояска опорной балки $W_{св}$, см³,

средняя остаточная толщина обшивки переборки несущей связи верхнего корпуса S_n , мм,

выбираются по опыту надзора или визуально наиболее изношенные сечения указанных в 2.2.1.1 конструкций.

Протяженность участка замеров вдоль раскоса или несущей связи верхнего корпуса для выбранного поперечного сечения должна быть в пределах одного листа обшивки или настила.

3.2.2.2 Средняя остаточная толщина в поперечном сечении раскоса S_p определяется по формуле

$$S_p = (\sum_{j=1}^m S_{1j} b_j) / (\sum_{j=1}^m b_j), \quad (3.2.2.2)$$

где S_{1j} — средняя остаточная толщина j -го листа раскоса, мм, определяемая согласно 3.2.3.1;

b_j — ширина j -го листа, мм;

m — число листов в поперечном сечении раскоса.

Если S_p определяется для сечения, включающего соединительные конструкции, то листы соединительных конструкций должны быть включены в общее число листов m , и, соответственно, S_p вычисляется с учетом листов соединительных конструкций.

3.2.2.3 При определении остаточного момента сопротивления поперечного сечения несущей связи верхнего корпуса $W_{св}$ следует включать в ее поперечное сечение переборку, верхнюю и главную палубы в пределах присоединенного пояска и опорную балку. Ширина присоединенного пояска должна определяться в соответствии с 3.2.4.4 части II «Корпус» Правил ПБУ/МСП.

В качестве толщин листов принимаются их средние остаточные толщины согласно 3.2.3.1.

В качестве толщин элементов набора (стенки, свободного пояска) принимаются их средние остаточные толщины на участке протяженностью в пределах одного листа обшивки или настила, которые определяются как среднее арифметическое замеров остаточных толщин в точках, расположенных равномерно по рассматриваемому участку. Как правило, необходимо выполнить два-три замера отдельно по стенке и свободному пояску балки вдоль ее длины в пределах рассматриваемого участка.

3.2.2.4 Средняя остаточная толщина обшивки переборки несущей связи верхнего корпуса S_{Π} определяется по формуле, аналогичной (3.2.2.2).

3.2.3 Листы.

3.2.3.1 При общем износе средняя остаточная толщина листа S_1 , мм, определяется как среднее арифметическое замеров остаточных толщин в точках, расположенных равномерно по всей поверхности листа. При этом замеры остаточных толщин в точках, расположенных в местах канавочного износа, а также в отдельных глубоких язвах не следует учитывать.

Число точек замеров остаточных толщин на листе устанавливается из расчета не менее одной на каждые 5 м^2 площади его поверхности.

Если максимальная разность замеренных толщин в точках на листе с построечной толщиной до 16 мм превышает 2 мм, а свыше 16 мм — 3 мм, то число точек замеров на участке листа с минимальной остаточной толщиной должно быть увеличено как для участка листа с износом пятнами в соответствии с 3.2.3.2.

Если на части листа выделен участок с износами пятнами, то его средняя остаточная толщина S_3 используется как остаточная толщина в одной точке замера при определении толщины S_1 .

Допускается оценивать износ листа отдельно по участкам, если лист перекрывают два отсека.

3.2.3.2 При местном износе средняя остаточная толщина участка листа S_3 , мм, определяется на основании замеров в точках, расположенных в пределах изношенного участка листа:

при износе пятнами — как среднее арифметическое замеров остаточных толщин в точках;

при канавочном износе — по формуле

$$S_3 = S_1 - (h_1 + h_2), \quad (3.2.3.2)$$

где S_1 — средняя остаточная толщина листа, мм, определяемая в соответствии с 3.2.3.1;
 h_1 и h_2 — средние износы в канавке, мм, соответственно с лицевой и обратной поверхностей листа.

Точки замеров должны быть расположены равномерно по изношенному участку листа. Число точек замеров остаточных толщин должно быть не менее следующего:

при износе листа пятнами — трех равномерно расположенных по участку листа;

при канавочном износе листа — одной на каждые 0,3 м длины канавки.

3.2.3.3 При язвенном износе остаточная толщина листа S_4 , мм, определяется на основании замеров износов в язвинах в пределах участка листа по формуле

$$S_4 = S_1 - h_4, \quad (3.2.3.3)$$

где S_1 — средняя остаточная толщина листа, мм, определяемая в соответствии с 3.2.3.1;

h_4 — максимальный износ из замеренных в язвинах относительно поверхности листа.

Число язвин, подлежащих замерам, определяется в каждом конкретном случае по результатам их визуального осмотра. Если выделить отдельно расположенные язвины затруднительно, то измерение наибольших износов в язвинах следует проводить относительно рейки длиной 300 — 400 мм, свободно приложенной к зачищенной от продуктов коррозии поверхности листа.

3.2.4 Балки набора.

3.2.4.1 При общем износе балки набора для определения остаточного момента сопротивления ее поперечного сечения W_n , см³, с присоединенным пояском и средней остаточной толщины стенки S_1 , мм, выбираются наиболее изношенные балки рамного и основного набора.

Замеры остаточных толщин выполняются в сечениях у опор и в середине пролета.

В качестве расчетных толщин элементов поперечного сечения балки (стенки, свободного пояса, присоединенного пояса) при определении W_n принимаются остаточные толщины, осредненные по поперечному сечению элемента отдельно для стенки, свободного пояса и присоединенного пояса. Ширину присоединенного пояса балки следует определять в соответствии с требованиями 2.5.3.2 части II «Корпус» Правил ПБУ/МСП.

Толщина, осредненная по стенке балки, выступает в качестве средней остаточной толщины стенки S_1 .

Число точек замеров остаточных толщин по стенке и свободному пояску балки набора устанавливается не менее:

для составной балки набора — двух по ширине пояса и двух по высоте стенки;

для балки набора из углового катаного профиля — одной по пояску и одной по стенке;

для балки набора из полособульбового катаного профиля — одной по стенке.

Замеры остаточных толщин элементов набора должны быть выполнены в следующих точках:

по стенке — у основания в районе сварного шва, соединяющего балку с подкрепляемым листом и, если требуется, на $2/3$ высоты стенки от основания;

по пояску — на кромке/кромках.

Замеры остаточных толщин в отдельных глубоких язвинах не следует учитывать при определении W_n и S_1 .

3.2.4.2 При местном износе средняя остаточная толщина участка элемента набора S_3 , мм, определяется по результатам замеров остаточных толщин в точках на ее стенке или пояске, выполненных для наиболее изношенных участков.

Наиболее изношенные участки определяются визуально либо на основании выборочных замеров остаточных толщин элементов набора.

Средняя остаточная толщина участка элемента набора определяется:

при износе пятнами — как среднее арифметическое замеров остаточных толщин в точках;

при канавочном износе — в соответствии с формулой (3.2.3.2).

Число точек замеров устанавливается с учетом рекомендаций 3.2.3.2 и 3.2.4.1.

3.2.4.3 При язвенном износе остаточная толщина элемента набора S_4 , мм, и число точек замеров определяются в соответствии с 3.2.3.3.

3.2.5 Сварные швы.

3.2.5.1 Оценка величины и равномерности износа стыковых швов на протяжении свыше 0,3 м производится путем их сопоставления с поверхностью соединяемых листов, а угловых швов — на основании замеров их катетов.

Число точек замеров износов в сварном шве устанавливается, исходя из опыта надзора.

3.2.5.2 При износе сварного шва на протяжении от 0,1 до 0,3 м его средняя остаточная толщина S_3 , мм, определяется в соответствии с 3.2.3.2 как разность между остаточной толщиной листа вблизи изношенного шва и глубиной канавки/канавок.

3.2.5.3 При износе сварного шва на протяжении до 0,1 м его остаточная толщина S_4 , мм, определяется в соответствии с 3.2.3.3 как для элемента корпуса с язвенным износом.

3.2.6 Соединительные элементы и местные подкрепления.

При износе соединительных элементов и местных подкреплений средняя остаточная толщина S_1 , мм, определяется как среднее арифметическое замеров остаточных толщин в точках, расположенных равномерно по поверхности элемента или подкрепления.

Число точек замеров остаточных толщин на элементе или подкреплении устанавливается, исходя из опыта надзора.

При существенно неравномерном износе элемента или подкрепления число точек замеров остаточных толщин следует увеличить в районе повышенного износа, исходя из опыта надзора.

3.3. КОНСТРУКЦИИ С ДЕФОРМАЦИЯМИ

3.3.1 Обследование конструкций.

3.3.1.1 Состояние конструкций корпуса с деформациями характеризуется остаточными стрелками прогибов и размерами деформированных участков конструкции в плане.

3.3.1.2 Вид деформации элементов корпуса устанавливается визуально при освидетельствовании ППБУ на основании опыта надзора. В отдельных случаях для установления вида деформации могут потребоваться дополнительные замеры остаточных стрелок прогиба подкрепляющих балок набора.

3.3.1.3 Измерение параметров деформаций производится по отношению к первоначальной недеформированной поверхности стандартным измерительным инструментом: линейкой, штангенциркулем с глубиномером, индикатором часового типа и т.п.

Точность измерения размеров деформированных участков конструкции в плане должна быть не менее 100 мм, максимальных стрелок прогиба — не менее 1 мм.

3.3.1.4 Результаты измерений рекомендуется оформлять в виде таблиц по формам 2.2-1 и 2.2-2 приложения, а также в виде чертежей растяжки наружной обшивки, планов палуб, платформ, переборок корпусных конструкций с указанием вида деформации, замеров стрелок прогиба и других нормируемых параметров деформаций элементов корпуса.

3.3.1.5 Обследование элементов корпуса с деформациями выполняется с учетом особенностей эксплуатации конструкций и опыта надзора.

При обследовании рекомендуется основное внимание обращать на следующие конструкции:

стабилизирующие колонны по уровню ватерлинии рабочего состояния (главным образом, средние стабилизирующие колонны);

продольные наклонные раскосы;
 наружные борта понтонов в районе ширстречного пояса;
 опорные балки верхнего корпуса со стороны спайдерной палубы;
 настил спайдерной палубы верхнего корпуса.

3.3.2 Характеристики поперечного сечения конструкций.

3.3.2.1 Для определения суммарной протяженности бухтин, гофр и вмятин $\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}$, м, и суммарной протяженности вмятин $\sum_{i=1}^n l_{i_k}$, м, в стабилизирующих колоннах выбираются поперечные сечения с наибольшим числом остаточных деформаций в обшивке. Как правило, такие сечения располагаются по уровню ватерлинии рабочего состояния ППБУ. Суммированию подлежат протяженности остаточных деформаций l_{i_k} , м, по всему периметру поперечного сечения стабилизирующей колонны независимо от величин их стрелок прогиба.

3.3.2.2 Для определения суммарной протяженности бухтин, гофр и вмятин $\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}$, м, и суммарной протяженности вмятин $\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}$ в несущих связях верхнего корпуса выбираются поперечные сечения с наибольшим числом остаточных деформаций в верхней палубе в пределах присоединенного пояса и в переборке. Суммированию подлежат протяженности остаточных деформаций $l_{i_{в.к.}}$, м, отдельно по ширине присоединенного пояса и по высоте переборки независимо от величины их стрелок прогиба.

3.3.2.3 Подкрепленные элементы корпуса с остаточными деформациями могут не рассматриваться при определении $\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}$, $\sum_{i=1}^n l_{i_k}$, $\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}$, $\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}$.

3.3.3 Бухтины и гофрировки.

3.3.3.1 Максимальная стрелка прогиба бухтины или гофра f_0 , мм, определяется на основе измерений по обшивке или настилу между набором. Схема выполнения замеров f_0 приведена на рис. 3.3.3.1.

3.3.3.2 Минимальный размер $b_{\min}$, мм, и максимальный размер $b_{\max}$, мм, бухтины или гофра в плане измеряются в районе максимального прогиба. Первоначально измеряется минимальный размер $b_{\min}$, а максимальный размер $b_{\max}$ измеряется под углом 90° к $b_{\min}$. Схема выполнения замеров $b_{\min}$, $b_{\max}$ приведена на рис. 3.3.3.1.

3.3.3.3 С целью удовлетворения критерию (2.3.3.3) для гофрировки из всех значений $f_0/b_{\min}$ выбирается наибольшее.

3.3.4 Вмятины и выпучины в понтонах, стабилизирующих колоннах и верхнем корпусе.

3.3.4.1 Максимальная стрелка прогиба f_6 , мм, и длина деформированного участка l , мм, балки набора в районе вмятины измеряются в плоскости балки. Схемы выполнения замеров f_6 и l приведены на рис. 3.3.4.1.

3.3.4.2 Максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине f_0 , мм, определяется на основе измерений, которые выполняются для участка конструкции с вмятиной.

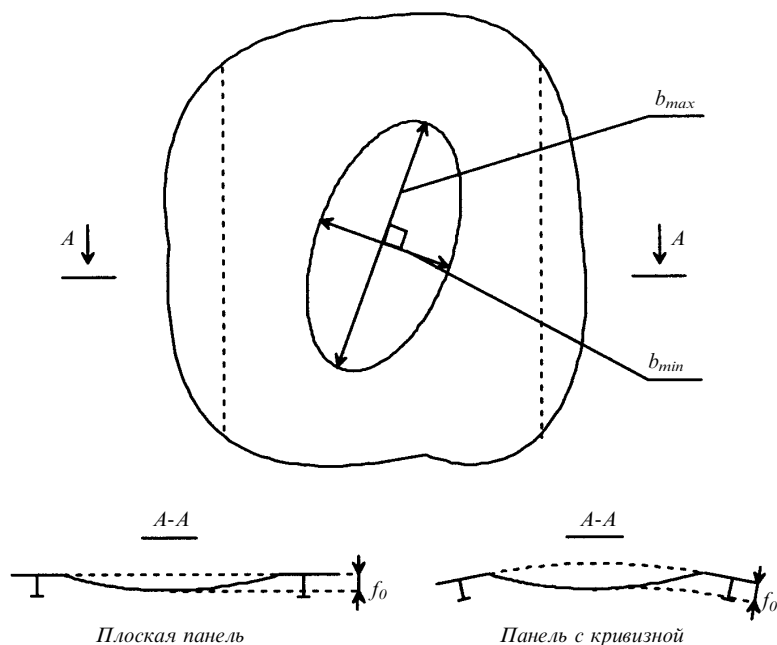


Рис. 3.3.3.1
Измерение параметров бухтины или гофра

Минимальный размер $b_{\min}$, мм, максимальный размер $b_{\max}$, мм, вмятины в плане измеряются в районе максимального прогиба обшивки (настила). Первоначально измеряется минимальный размер $b_{\min}$, а максимальный размер $b_{\max}$ измеряется под углом 90° к $b_{\min}$. Схемы выполнения замеров f_0 , $b_{\min}$, $b_{\max}$ приведены на рис. 3.3.4.1.

3.3.4.3 Отклонение стенки балки набора d , мм, от первоначального положения измеряется на уровне свободного пояса в месте, где это отклонение максимально. Схема выполнения замера d приведена на рис. 3.3.4.1.

3.3.4.4 Максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) во вмятине с выпучиной f_0 , мм, минимальный размер $b_{\min}$, мм, максимальный размер $b_{\max}$, мм, вмятины с выпучиной в плане определяются в соответствии с 3.3.4.2.

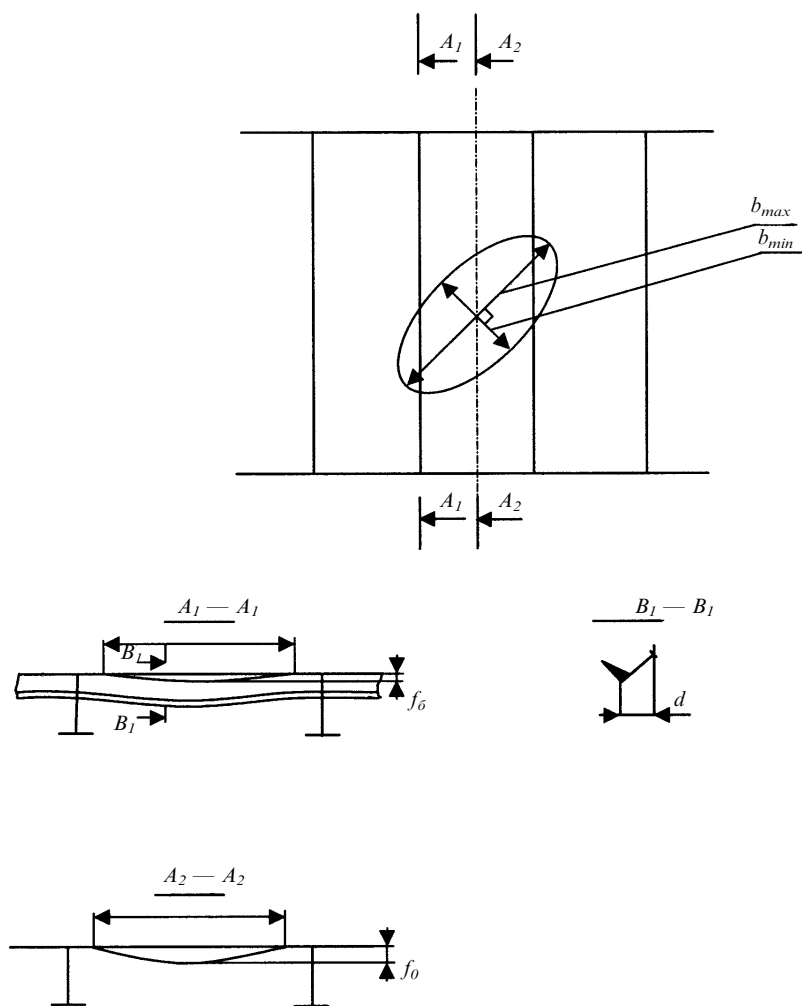


Рис. 3.3.4.1
Измерение параметров вмятин

3.3.5 Вмятины в раскосах.

3.3.5.1 Длина группы вмятин вдоль раскоса l_p , м, определяется как расстояние между наиболее удаленными кромками вмятин, входящих в одну группу, по образующей раскоса.

Для определения длины группы вмятин необходимо оценить фактическое расстояние b_{ij} , м, между ближайшими кромками соседних вмятин по образующей раскоса. При этом вмятины следует рассматривать как группу, если выполняется условие

$$b_{ij} \leq 0,8D, \quad (3.3.5.1)$$

где D — диаметр раскоса, м.

В противном случае совместное влияние вмятин не учитывается и может рассматриваться несколько групп, каждая из которых может быть представлена и одной вмятиной. Схема определения l_p приведена на рис. 3.3.5.1а.

При определении длины группы вмятин для раскосов следует учитывать все вмятины независимо от величины их стрелок прогиба, за исключением отремонтированных конструкций.

3.3.5.2 Максимальная стрелка прогиба каждой вмятины f_i определяется на основании измерений, которые выполняются для участка конструкции с вмятиной.

Стрелка прогиба группы вмятин f_p определяется на основе измеренных максимальных значений f_i рассматриваемой группы в соответствии с нижеследующим (см. рис. 3.3.5.1 б, в):

если вмятины расположены в одном поперечном сечении на противоположных образующих цилиндрической поверхности раскоса, то

$$f_p = f_i + f_j, \quad (3.3.5.2)$$

где f_i, f_j — максимальные стрелки прогиба во вмятинах, расположенных на противоположных образующих;

если вмятины расположены произвольно по поперечному сечению либо вдоль одной образующей цилиндрической поверхности раскоса на длине l_p , то

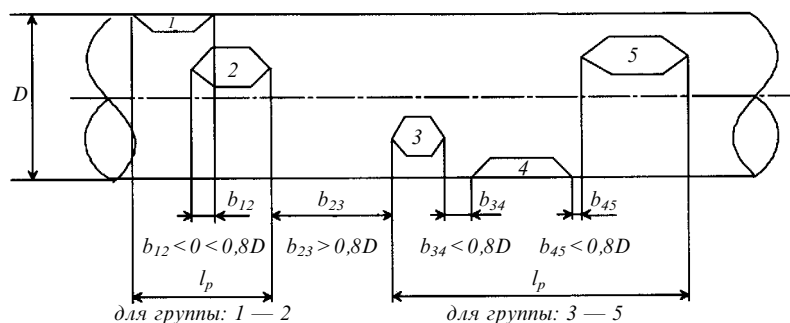
$$f_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i^2}, \quad (3.3.5.3)$$

где f_i — максимальная стрелка прогиба в i -ой вмятине;
 n — число вмятин в рассматриваемой группе.

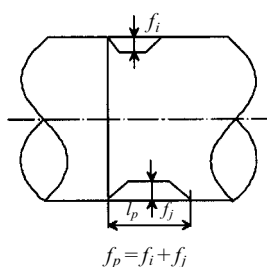
3.3.6 Соединительные элементы и местные подкрепления.

Необходимость обследования соединительных элементов и местных подкреплений, а также правила замеров параметров деформаций в них устанавливаются, исходя из опыта надзора.

a)



б)



в)

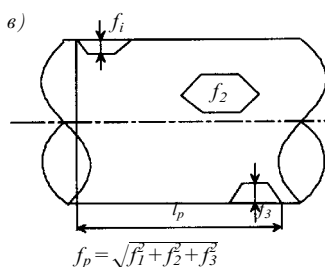


Рис. 3.3.5.1

Измерение и определение параметров вмятин в раскосе

3.4. КОНСТРУКЦИИ С ТРЕЩИНАМИ И РАЗРЫВАМИ

3.4.1 Конструкции с трещинами.

3.4.1.1 Состояние конструкций корпуса с трещинами характеризуется расположением трещины в конструкции, ее длиной, раскрытием, а также (если трещина поверхностная) глубиной, которые определяются на основании замеров.

3.4.1.2 Трещины в элементах корпуса могут быть обнаружены осмотром, испытаниями, а также с помощью следующих методов:

- радиографического,
- ультразвукового,
- магнитопорошкового,
- цветной дефектоскопии,
- водоэмульсионных жидкостей, керосина с мелом и др.

3.4.1.3 Рекомендуется следующая очередность обследования конструкций на предмет выявления трещин:

.1 в процессе общего визуального осмотра происходит выявление «сомнительных» зон по таким признакам как растрескивание краски, усиленный налет ржавчины у сварного шва и т. п.;

.2 осуществляется подготовка поверхности к освидетельствованию (очистка от краски, обрастания, ржавчины и т. п.);

.3 проводится тщательное визуально-оптическое обследование, которое при необходимости может быть дополнено следующими методами контроля: магнитопорошковым, цветной дефектоскопии и т. п.

Обследование «сомнительной» зоны указанными способами позволит либо подтвердить предположение о наличии трещины, либо опровергнуть его.

В случае обнаружения трещины определение ее параметров должно быть комплексным с использованием различных инструментов и приборов. Для определения глубины трещины могут быть рекомендованы ультразвуковые дефектоскопы; для определения ее раскрытия и длины — микроскопы, штангенциркули, линейки в зависимости от параметров трещины.

После выполнения контроля обследованная зона должна быть надежно предохранена от коррозионных процессов.

3.4.1.4 При определении длины и раскрытия трещины следует использовать измерительный инструмент, обеспечивающий точность измерений не менее 1 мм.

Длина трещины в конструктивном элементе измеряется по кратчайшему расстоянию между ее началом и концом. Раскрытие трещины определяется максимальным расстоянием между ее краями.

3.4.1.5 Результаты измерений рекомендуется оформлять в виде таблиц по форме 2.3 приложения, а также чертежей или эскизов конструкции с трещиной с указанием ее длины и раскрытия.

3.4.1.6 Обследование элементов корпуса с трещинами выполняется с учетом особенностей эксплуатации конструкций и опыта надзора. В первую очередь должны быть обследованы соединительные конструкции и прилегающие к ним элементы корпусных конструкций, а также районы с резким изменением сечения. При этом основное внимание должно уделяться освидетельствованию узлов соединения горизонтальных раскосов со стабилизирующей колонной и между собой.

Тщательному визуально-оптическому обследованию, при необходимости с использованием приемлемых методов, указанных в 3.4.1.2, должны подвергаться участки сварных швов в диапазоне около 0,5 м от окончания соединительной конструкции (см., например, рис. 3.4.1.6-1, 3.4.1.6-2).

3.4.1.7 При выполнении обследования на предмет выявления трещин в корпусных конструкциях ППБУ рекомендуется принимать

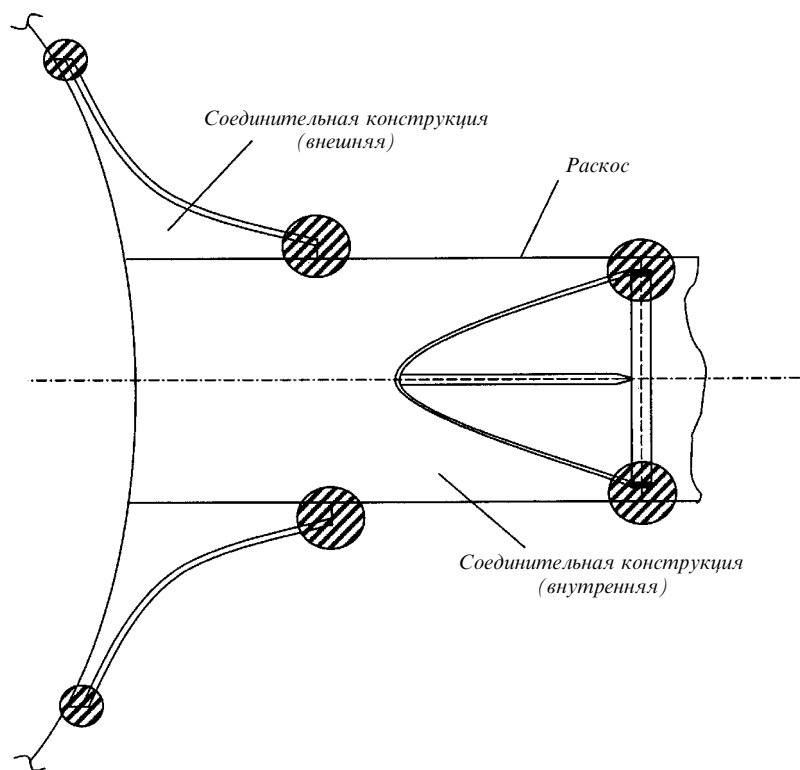


Рис. 3.4.1.6-1

Схема соединения раскоса с колонной (сечение):
 — участки, подвергаемые неразрушающему контролю

во внимание опыт обследования морских судов. Наиболее вероятными районами появления трещин на основании опыта транспортного судостроения являются следующие:

- углы вырезов люков;
- концы надстроек и рубок;
- места окончания комингсов;
- кничные соединения балок;
- узлы пересечения балок основного набора с рамными связями;
- вырезы для облегчения конструкций;
- места, подверженные интенсивной вибрационной или ударной нагрузкам.

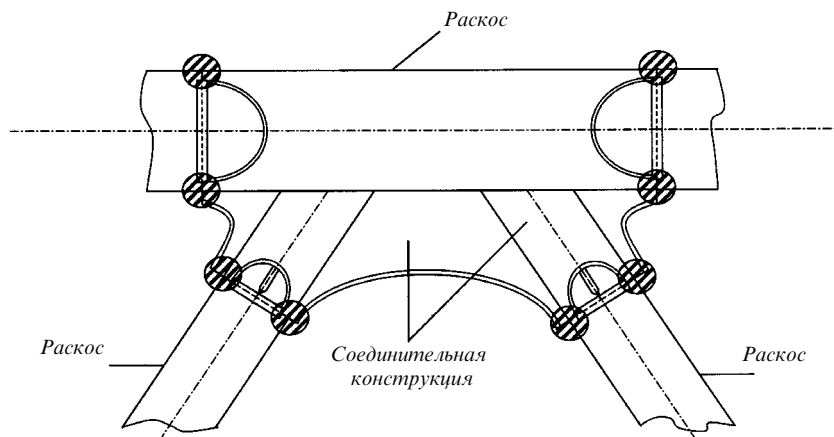


Рис. 3.4.1.6-2

Схема К-образного соединения раскосов:

⊗ — участки, подвергаемые неразрушающему контролю

3.4.2 Конструкции с разрывами.

3.4.2.1 Состояние конструкций корпуса с разрывами характеризуется расположением разрыва в конструкции и его габаритными размерами (длиной и шириной) или площадью.

3.4.2.2 Наличие разрывов в элементах корпуса устанавливается при общем визуальном осмотре.

3.4.2.3 Измерение параметров разрыва производится с помощью штангенциркуля, линейки или другого измерительного инструмента, обеспечивающего точность измерений не менее 10 мм.

3.4.2.4 Результаты измерений разрывов могут быть оформлены в произвольной форме.

3.4.2.5 При обследовании на предмет выявления разрывов следует основное внимание обращать на следующие конструкции:

опорные балки верхнего корпуса со стороны спайдерной палубы;

настил спайдерной палубы верхнего корпуса.

Дополнительно следует руководствоваться опытом надзора.

4. НОРМАТИВЫ ДЛЯ КОРПУСА С ДЕФЕКТАМИ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1.1 Настоящий раздел регламентирует нормативы для элементов корпуса ППБУ с дефектами для определения его технического состояния в соответствии с положениями разд. 2.

4.1.2 Нормативы настоящего раздела регламентируют техническое состояние корпуса ППБУ, соответствующее видам «ГОДЕН» и «ГОДЕН С ОГРАНИЧЕНИЯМИ», указанным в гл. 2.1.

4.1.3 Нормативы для вида технического состояния «ГОДЕН» определяются для ППБУ, исходя из действующего класса Регистра и 5-летней периодичности очередных освидетельствований.

4.1.4 Нормативы для вида технического состояния «ГОДЕН С ОГРАНИЧЕНИЯМИ» определяются для ППБУ при сокращении срока между освидетельствованиями с целью обеспечения необходимой безопасности ППБУ при существующем техническом состоянии его корпуса или снижения объемов ремонта.

4.1.5 Нормативы для ППБУ должны определяться в соответствии с 4.2.1 — 4.2.5 и гл. 4.3. Нормативы для элементов корпуса с износами для ППБУ с продолжительностью последующей эксплуатации менее 5 лет могут определяться с учетом 4.2.6.

4.1.6 Нормативы устанавливаются по отношению к размерам и характеристикам элементов нового корпуса, удовлетворяющих Правилам ПБУ/МСП.

Для элементов корпуса ППБУ в качестве характеристик, удовлетворяющих Правилам ПБУ, могут использоваться построечные толщины и размеры элементов корпуса из отчетных чертежей, имеющих одобрение Регистра.

4.1.7 Нормативы для элементов корпуса ППБУ с дефектами должны быть оформлены в виде документа, принятого Регистром к сведению.

4.2. КОНСТРУКЦИИ С ИЗНОСАМИ

4.2.1 Характеристики поперечного сечения конструкций.

4.2.1.1 Допускаемая средняя остаточная толщина в поперечном сечении раскоса $[S_p]$, мм, определяется по формуле

$$[S_p] = k_p S_0^*, \quad (4.2.1.1-1)$$

где S_0^* — средняя толщина листов в поперечном сечении раскоса, мм, определяемая по формуле

$$S_0^* = \left(\sum_{i=1}^m S_0^i b_i \right) / \sum_{i=1}^m b_i, \quad (4.2.1.1-2)$$

где S_0^i — толщина i -го листа, мм, удовлетворяющая требованиям Правил ПБУ/МСП (см. 4.1.6);

b_i — ширина i -го листа, мм;

m — число листов в рассматриваемом поперечном сечении конструкции;

k_p — коэффициент, равный следующим величинам:

при $S_0^* < 15$ мм $k_p = 0,85$,

при $S_0^* \geq 15$ мм $k_p = (0,95 - 1,5/S_0^*)$.

4.2.1.2 Допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения несущих связей верхнего корпуса для верхней палубы и нижнего пояска опорной балки $[W_{св}]$, см³, определяется по формуле

$$[W_{св}] = k_{св} W_0, \quad (4.2.1.2)$$

где W_0 — момент сопротивления поперечного сечения несущей связи верхнего корпуса для верхней палубы и нижнего пояска опорной балки, см³, удовлетворяющий требованиям Правил ПБУ/МСП (см. 4.1.6);

$k_{св}$ — коэффициент, равный следующим величинам:

для верхней палубы и нижнего пояска опорной балки

$k_{св} = 0,85$,

для верхнего пояска связи, имеющей высоту менее высоты верхнего корпуса (т. е. верхняя палуба в рассматриваемой зоне отсутствует)

$k_{св} = 0,9$.

4.2.1.3 Допускаемая средняя остаточная толщина обшивки переборки несущих связей верхнего корпуса $[S_n]$, мм, определяется по формуле

$$[S_n] = k_n S_0^*, \quad (4.2.1.3)$$

где S_0^* — средняя толщина листов в поперечном сечении переборки несущей связи верхнего корпуса, мм, определяемая по формуле (4.2.1.1-2);

k_n — коэффициент, равный следующим величинам:

для переборок или их участков, высота которых равна высоте верхнего корпуса

$k_n = 0,85$,

для участков переборок, высота которых менее высоты верхнего корпуса

$k_n = 0,9$.

4.2.2 Листы.

4.2.2.1 При общем износе допускаемая остаточная толщина листа $[S_1]$, мм, определяется по формуле

$$[S_1] = m_1 S_0, \quad (4.2.2.1)$$

где S_0 — толщина листа, мм, удовлетворяющая требованиям Правил ПБУ/МСП (см. 4.1.6);

m_1 — коэффициент, принимаемый по табл. 4.2.2.1.

Таблица 4.2.2.1

Значения коэффициентов m_1 в формуле (4.2.2.1) и m_3 в формуле (4.2.2.2) для листов

№ п/п	Наименование конструкции или элемента	S_0 , мм	m_1	m_3
1	Понтоны			
	Все листы	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,65 $0,75 - 1/S_0$	0,60 $0,70 - 1/S_0$
2	Стабилизирующие колонны			
2.1	Все листы вне зон соединений с другими корпусными конструкциями	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,75 $0,85 - 1/S_0$	0,65 $0,75 - 1/S_0$
2.2	Листы в местах соединений с другими корпусными конструкциями	—	$\max \begin{cases} 0,80 \\ 0,85 - 1/S_0 \end{cases}$ или	$\max \begin{cases} 0,70 \\ 0,75 - 1/S_0 \end{cases}$ или
3	Раскосы			
3.1	Горизонтальные поперечные, наклонные поперечные	$S_0 \leq 15$ $S_0 > 15$	0,80 $0,90 - 1,5/S_0$	0,70 $0,80 - 1,5/S_0$
3.2	Диагональные горизонтальные	$S_0 \leq 15$ $S_0 > 15$	0,75 $0,85 - 1,5/S_0$	0,70 $0,80 - 1,5/S_0$
3.3	Наклонные продольные	$S_0 \leq 15$ $S_0 > 15$	0,65 $0,75 - 1,5/S_0$	0,60 $0,70 - 1,5/S_0$
4	Верхний корпус			
4.1	Верхняя палуба в пределах присоединенных поясков поперечных несущих связей, нижний пояс и стенки опорных балок поперечных несущих связей, переборки поперечных несущих связей	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,75 $0,85 - 1/S_0$	0,70 $0,80 - 1/S_0$
4.2	Верхняя палуба вне районов присоединенных поясков связей, перечисленных в 4.1, элементы опорных балок, исключая перечисленные в 4.1	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,70 $0,80 - 1/S_0$	0,65 $0,75 - 1/S_0$
4.3	Борта, продольные и поперечные переборки, исключая перечисленные в 4.1, спайдерная палуба	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,70 $0,80 - 1/S_0$	0,60 $0,70 - 1/S_0$
4.4	Главная палуба, платформа вертолетной площадки, платформа спасательных шлюпок	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,65 $0,75 - 1/S_0$	0,60 $0,70 - 1/S_0$
4.5	Платформа между главной палубой и верхней палубой	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,60 $0,70 - 1/S_0$	0,50 $0,60 - 1/S_0$
4.6	Другие листовые элементы, обеспечивающие местную прочность	$S_0 \leq 10$ $S_0 > 10$	0,55 $0,65 - 1/S_0$	0,50 $0,60 - 1/S_0$
4.7	Пиллерсы, стойки вертолетной площадки, другие стойки	—	0,80	—
5	Соединительные конструкции			
	Все листы	$S_0 \leq 15$ $S_0 > 15$	0,80 $0,90 - 1,5/S_0$	0,70 $0,80 - 1,5/S_0$

4.2.2.2 При местном износе допускаемая остаточная толщина участка листа $[S_3]$, мм, определяется по формуле

$$[S_3] = m_3 S_0, \quad (4.2.2.2)$$

где S_0 — согласно 4.2.2.1;

m_3 — коэффициент, принимаемый по табл. 4.2.2.1.

Для участка листа с канавочным износом протяженностью 100 мм и менее следует принимать нормативы как для листа с язвенным износом в соответствии с 4.2.2.3.

4.2.2.3 При язвенном износе допускаемая остаточная толщина листа $[S_4]$, мм, определяется по формуле

$$[S_4] = m_4 [S_0] \geq 4 \text{ мм}, \quad (4.2.2.3)$$

где m_4 — коэффициент, принимаемый по табл. 4.2.2.2;

$[S_0]$ — согласно 4.2.2.1.

Таблица 4.2.2.2

Значения коэффициента m_4 в формуле (4.2.2.3)

№ п/п	Наименование конструкции	m_4
1	Понтоны	0,40
2	Стабилизирующие колонны	0,45
3	Раскосы	0,50
4	Верхний корпус	0,40
5	Соединительные конструкции	0,50

4.2.3 Балки набора.

4.2.3.1 Допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения балки набора $[W_n]$, см³, определяется по формуле

$$[W_n] = n W_n, \quad (4.2.3.1)$$

где W_n — момент сопротивления поперечного сечения балки набора, см³, удовлетворяющий требованиям Правил ПБУ/МСП (см. 4.1.6);

n — коэффициент, принимаемый по табл. 4.2.3.1.

Таблица 4.2.3.1

Значения коэффициента n в формуле (4.2.3.1)

№ п/п	Наименование конструкции	n
1	Понтоны	
1.1	Продольные балки ширстрека, палубного стрингера и скулового листа	0,70
1.2	Балки понтона, исключая перечисленные в 1.1	0,65
2	Стабилизирующие колонны	0,75
3	Раскосы	
3.1	Горизонтальные поперечные и наклонные поперечные	0,80
3.2	Горизонтальные диагональные	0,75
3.3	Продольные наклонные	0,70
4	Верхний корпус	
4.1	Конструктивные элементы, перечисленные в 4.1 табл. 4.2.2.1	0,75
4.2	Конструктивные элементы верхнего корпуса, перечисленные в 4.2, 4.3, 4.4 табл. 4.2.2.1	0,70
4.3	Конструктивные элементы верхнего корпуса, перечисленные в 4.5, 4.6 табл. 4.2.2.1	0,65
5	Соединительные конструкции	0,80

4.2.3.2 При общем износе допускаемая остаточная толщина стенки балки набора $[S_1]$, мм, определяется по формуле

$$[S_1] = nS_0, \quad (4.2.3.2)$$

где S_0 — толщина стенки балки, мм, удовлетворяющая требованиям Правил ПБУ/МСП (см. 4.1.6);

n — см. 4.2.3.1.

4.2.3.3 При местном износе допускаемая остаточная толщина участка стенки и свободного пояска балки набора $[S_3]$, мм, определяется по формуле

$$[S_3] = [S_1] - 0,1S_0, \quad (4.2.3.3)$$

где $[S_1]$, S_0 — см. 4.2.3.2.

4.2.3.4 При язвенном износе допускаемая остаточная толщина элемента набора $[S_4]$, мм, определяется по формуле (4.2.2.3).

4.2.4 Сварные швы.

4.2.4.1 При износе сварного шва на протяжении свыше 0,3 м допускаемые износы устанавливаются следующими:

для стыковых швов — не ниже поверхности элемента корпуса с меньшей толщиной в соединении;

для угловых швов — уменьшение калибра на 1 мм или на 20 % в зависимости от того, что меньше.

4.2.4.2 При износе сварного шва на протяжении от 0,1 до 0,3 м его допускаемая остаточная толщина $[S_3^*]$, мм, определяется по формуле

$$[S_3^*] = 0,9[S_3], \quad (4.2.4.2)$$

где $[S_3]$ — допускаемая остаточная толщина участка листа, мм, в котором расположен сварной шов.

4.2.4.3 При износе сварного шва на протяжении до 0,1 м его допускаемая толщина $[S_4]$, мм, определяется по формуле (4.2.2.3).

4.2.5 Местные подкрепления.

При общем износе допускаемая остаточная толщина местного подкрепления $[S_1]$, мм, определяется по формуле

$$[S_1] = 0,5S_0, \quad (4.2.5)$$

где S_0 — построечная толщина местного подкрепления, мм.

4.2.6 ППБУ с продолжительностью последующей эксплуатации менее 5 лет.

4.2.6.1 Допускаемые характеристики поперечного сечения конструкций $[S_p]$, $[W_{св}]$, $[S_n]$, определенные в соответствии с 4.2.1, допускаемые толщины листов $[S_1]$, $[S_3]$, $[S_4]$, определенные в соответствии с 4.2.2, и допускаемые характеристики балок набора $[W_n]$, $[S_1]$, $[S_3]$, $[S_4]$, определенные в соответствии с 4.2.3, могут быть уменьшены путем умножения их на коэффициент χ , определяемый по табл. 4.2.6.1.

Таблица 4.2.6.1

Значения коэффициента χ

Наименование допускаемой характеристики	Срок до ближайшего освидетельствования, ремонта или списания ППБУ, τ , годы			
	$\tau \leq 2$	$2 < \tau \leq 3$	$3 < \tau \leq 4$	$4 < \tau \leq 5$
Характеристики поперечного сечения конструкций	0,95	1,00	1,00	1,00
Толщины листов	0,90	0,95	1,00	1,00
Характеристики балок набора	0,90	0,95	0,95	1,00

4.2.6.2 Для сварных швов, изношенных на протяжении свыше 0,3 м, при освидетельствовании и выборочных замерах не реже, чем каждые 2,5 года, допускаемые износы могут быть следующими:

для стыковых швов — до $0,95S_1$, но не более 1 мм от поверхности листа (где S_1 — меньшая средняя остаточная толщина соединяемых элементов корпуса);

для угловых швов — уменьшение калибра на 1,5 мм или на 30 % в зависимости от того, что меньше.

4.2.6.3 При общем износе допускаемая остаточная толщина местных подкреплений устанавливается в соответствии с 4.2.5.

4.3. КОНСТРУКЦИИ С ДЕФОРМАЦИЯМИ

4.3.1 Характеристики поперечного сечения конструкций.

4.3.1.1 Допускаемая суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин $[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}]$ и допускаемая суммарная протяженность вмятин $[\sum_{i=1}^n l_{i_k}]$ в поперечном сечении стабилизирующей колонны устанавливаются следующими:

$$[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_k}] = \pi r, \quad (4.3.1.1)$$

$$[\sum_{i=1}^n l_{i_k}] = 0,4\pi r,$$

где r — радиус поперечного сечения стабилизирующей колонны.

4.3.1.2 Допускаемая суммарная протяженность бухтин, гофр и вмятин $[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}]$ и допускаемая суммарная протяженность вмятин $[\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}]$ по ширине присоединенного пояска или высоте переборки несущих связей верхнего корпуса устанавливаются следующими:

$$[\sum_{i=1}^{m+n} l_{i_{в.к.}}] = 0,5C, \quad (4.3.1.2)$$

$$[\sum_{i=1}^n l_{i_{в.к.}}] = 0,2C,$$

где C — ширина присоединенного пояска для верхней палубы или высота переборки несущих связей верхнего корпуса за вычетом вырезов.

4.3.2 Бухтины и гофрировки.

Допускаемая относительная стрелка прогиба $[f_0/b_{\min}]$ обшивки (настила) в бухтине или гофрировке определяется по формуле

$$[f_0/b_{\min}] = \frac{\sqrt{B^2 + AE} - B}{A}, \quad (4.3.2)$$

где $A = \varphi \alpha$;

$$B = 8\varphi/b_{\min};$$

$$\varphi = 1,15\sqrt{1 + 1/\bar{b}^2 + 1/\bar{b}^4};$$

$$\alpha = \begin{cases} 3,5 - \bar{b} & \text{при } \bar{b} \leq 1,5; \\ 2,0 & \text{при } \bar{b} > 1,5 \end{cases}$$

$$\bar{b}_{\min} = b_{\min}/S_i;$$

$$\bar{b} = b_{\max}/b_{\min};$$

E — численный коэффициент согласно табл. 4.3.2;

$b_{\max}$ — максимальный размер бухтины или гофра в плане согласно 3.3.3.2;

Таблица 4.3.2

Значения коэффициента E

№ п/п	Наименование конструкции	Вид остаточной деформации			
		бухтина	гофрировка	вмятина	вмятина с выпучиной
1	Понтоны	0,078	0,065	0,065	0,039
2	Стабилизирующие колонны	0,084	0,070	0,070	0,042
3	Верхний корпус:				
3.1	элементы поперечных несущих связей верхнего корпуса (верхняя палуба в пределах присоединенных поясков и переборка)	0,031	0,031	0,031	0,019
3.2	конструкции верхнего корпуса, не рассматриваемые в 3.1	0,084	0,070	0,070	0,042

$b_{\min}$ — минимальный размер бухтины или гофра в плане согласно 3.3.3.2;

S_i — средняя остаточная толщина листа (участка листа) в районе остаточной деформации.

4.3.3 Вмятины и выпучины в понтонах, стабилизирующих колоннах и верхнем корпусе.

4.3.3.1 Допускаемая относительная стрелка прогиба $[f_6/l]$ балки набора в вмятине определяется по формуле

$$[f_6/l] = \frac{\sqrt{B_6^2 + 2E} - B_6}{2}, \quad (4.3.3.1)$$

где $B_6 = \frac{4}{l \cdot \beta}$;

$$\beta = \begin{cases} 0,76 & \text{при } \bar{l} \leq 12 \\ 0,916 - 0,013\bar{l} & \text{при } 12 < \bar{l} < 32; \\ 0,5 & \text{при } \bar{l} \geq 32 \end{cases}$$

$$\bar{l} = l/h;$$

E — численный коэффициент согласно табл. 4.3.2 для вмятин;

l — длина деформированного участка балки набора в районе вмятины;

h — высота поперечного сечения балки.

4.3.3.2 Допускаемая относительная стрелка прогиба $[f_0/b_{\min}]$ обшивки (настила) в вмятине определяется в соответствии с 4.3.2 при $b_{\max}$, $b_{\min}$ согласно 3.3.4.2.

4.3.3.3 Допускаемое отклонение стенки балки набора $[d]$ от первоначального положения определяется по формуле

$$[d] = 0,14h, \quad (4.3.3.3)$$

где h — высота поперечного сечения балки.

4.3.3.4 Допускаемая относительная стрелка прогиба $[f_0/b_{\min}]$ обшивки (настила) в вмятине с выпучиной определяется в соответствии с 4.3.2 при $b_{\max}$, $b_{\min}$ согласно 3.3.4.4.

4.3.4 Вмятины в раскосах.

4.3.4.1 Допускаемая длина группы вмятин вдоль раскоса $[l_p]$ определяется по формуле

$$[l_p] = (0,5 - 2,25f_p/D + 2,5(f_p/D)^2)l, \tag{4.3.4.1}$$

где f_p — стрелка прогиба группы вмятин согласно 3.3.5.2;
 D — диаметр раскоса;
 l — расчетная длина раскоса, определяемая как расстояние между соединительными конструкциями.

4.3.4.2 Допускаемая стрелка прогиба группы вмятин $[f_p]$ определяется по формуле

$$[f_p] = \alpha_p \sqrt{DS_i/2}, \tag{4.3.4.2}$$

где α_p — коэффициент, принимаемый по табл. 4.3.4.2.

Таблица 4.3.4.2

Значения коэффициента α_p	
Наименование раскосов	α_p
Горизонтальные поперечные	1
Наклонные поперечные	1
Горизонтальные диагональные	2
Наклонные продольные	3

D — диаметр раскоса;
 S_i — средняя остаточная толщина листа (участка листа) в районе вмятины.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕМОНТУ КОРПУСА

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1.1 Положения настоящего раздела регламентируют ремонт корпуса ППБУ с повреждениями, для которого установлен вид технического состояния «НЕ ГОДЕН».

5.1.2 В отремонтированных конструкциях корпуса должны быть восстановлены прочность, жесткость, непроницаемость до уровня, не ниже определенного Указаниями для видов технического состояния «ГОДЕН», «ГОДЕН С ОГРАНИЧЕНИЯМИ» в соответствии с положениями разд. 2.

5.1.3 В качестве методов ремонта конструкций рекомендуются замена, подкрепление, правка, заварка и заплавка¹. Допускается, если не отмечено особо, ремонтировать только участок конструкции с повреждением.

5.1.4 Выбор метода ремонта следует определять, исходя из следующего:

- вида повреждения и его численных параметров;
- участка поврежденной конструкции и его расположения в корпусе;
- возможных причин, вызвавших повреждение;
- возраста и продолжительности последующей эксплуатации судна;
- уровня качества выполнения работ по ремонту.

5.1.4.1 Вид повреждения и его численные параметры должны быть определены в соответствии с разд. 3.

5.1.4.2 Участок поврежденной конструкции необходимо оценить по степени важности его в конструкции в соответствии с назначением, классификацией связей по 1.4.1 и 1.4.2 части II «Корпус» Правил ПБУ/МСП и с учетом требований к непроницаемости.

5.1.4.3 В качестве возможных причин, вызвавших повреждение, могут быть следующие:

- ошибки проектирования;
- внутренние дефекты материала;
- технологические ошибки и низкое качество изготовления конструкции;
- ошибки и непредусмотренные случаи эксплуатации и т.п.

5.1.4.4 Продолжительность последующей эксплуатации ППБУ должна быть определена в зависимости от возраста ППБУ, технического состояния

¹ В Указаниях не рассматриваются методы ремонта, связанные с существенными изменениями и модернизацией корпуса.

корпуса, устройств, механизмов, электрооборудования и приборов, а также намерений владельца ППБУ в отношении объемов ремонта.

5.1.4.5 Следует учитывать, что при низком качестве выполнения ремонта конструкции могут оказаться менее надежными, чем в исходном состоянии с повреждением. Уровень качества выполнения работ по ремонту следует оценивать относительно уровня качества выполнения работ при постройке ППБУ.

5.1.4.6 Метод ремонта в каждом конкретном случае определяется владельцем ППБУ и подлежит предварительному согласованию с Регистром.

5.1.5 Техническая документация по проекту ремонта корпуса в виде конструктивных чертежей, расчетно-пояснительных записок, технологических карт, ведомостей и т. п. подлежит согласованию с Регистром.

5.1.6 Материал, используемый в ремонте конструкций, должен иметь сертификат Регистра.

Заменяющие или подкрепляющие элементы должны быть из стали категории не ниже построечной, той же или повышенной прочности.

5.1.7 Ремонт корпуса должен выполняться по технологии, согласованной с Регистром.

5.1.8 Все работы, связанные с ремонтом корпуса, должны проводиться под надзором Регистра.

5.1.9 Отремонтированные конструкции подлежат предъявлению Регистру с проведением в необходимых случаях испытаний в соответствии с Руководством. Также должны быть учтены требования Правил ПБУ/МСП в отношении остойчивости.

5.1.10 Качественное выполнение ремонта конструкций и прохождение испытаний является основанием для возобновления класса судна ППБУ.

5.1.11 При выполнении ремонта конструкций ППБУ рекомендуется руководствоваться Инструкцией с учетом гл. 5.2, 5.3 и 5.4 настоящих Указаний.

5.2. КОНСТРУКЦИИ С ИЗНОСАМИ

5.2.1 Для элементов корпуса с износами рекомендуются следующие методы ремонта:

- замена элемента корпуса или его участка;
- подкрепление элемента корпуса или его участка;
- заплавка участка элемента корпуса.

5.2.2 Для восстановления необходимых характеристик поперечного сечения конструкций, перечисленных в 2.2.1.1, допускается ремонт в

виде замены и/или подкрепления. Протяженность ремонтируемого участка по длине конструкции должна определяться на основании результатов дефектации поперечных сечений. Размеры каждой отремонтированной связи должны проверяться на соблюдение требований Правил ПБУ/МСП к прочности конструкции.

5.2.3 Ремонт листов по причине их недопустимого общего износа следует производить методом замены. В качестве временного метода ремонта листов допускается их дублирование. Для листов конструкций, перечисленных в 2.2.1.1, возможность применения дублирующих листов должна быть обоснована расчетом.

Допускается производить временный ремонт изношенного участка листа с местным износом с помощью дублирующего листа или накладных полос.

Листы с канавочным и язвенным износом допускается ремонтировать заплавкой канавок и язвин.

5.2.4 Ремонт балок набора по причине их недопустимого общего износа следует производить путем замены балки полностью. Допускается ремонт балки набора, за исключением балок конструкций, перечисленных в 2.2.1.1, производить подкреплением в виде усиления ее элементов по всей длине пролета.

При местном износе пятнами, канавочном износе элемент набора может быть заменен на ограниченном участке пролета в районе износа; при ремонте балки набора подкреплением в виде усиления ее элементов, что не допускается для балок конструкций, перечисленных в 2.2.1.1, необходимо обеспечить усиление изношенного участка по всей его длине.

При язвенном износе элемента набора допускается производить ремонт заплавкой.

5.2.5 Ремонт сварных соединений, соединительных элементов и местных подкреплений должен производиться в соответствии с Инструкцией.

5.2.6 Методы ремонта соединительных конструкций подлежат согласованию с Регистром.

5.3. КОНСТРУКЦИИ С ДЕФОРМАЦИЯМИ

5.3.1 Для элементов корпуса с остаточными деформациями рекомендуются следующие методы ремонта:

- замена элемента корпуса или его участка;
- подкрепление элемента корпуса или его участка с остаточной деформацией;
- правка.

5.3.2 Для восстановления необходимых характеристик поперечного сечения конструкций, перечисленных в 2.3.1.1, допускается выполнять ремонт методами замены и подкрепления. Размеры каждой отремонтированной связи должны проверяться на соблюдение требований Правил ПБУ/МСП к прочности конструкции.

5.3.3 Ремонт элементов корпуса с бухтинами, гофрировками, вмятинами и выпучинами методами подкрепления и правки следует производить в соответствии с Инструкцией.

5.3.4 Методы ремонта расколов с вмятинами и соединительных конструкций с любыми видами остаточных деформаций в каждом конкретном случае подлежат согласованию с Регистром.

5.3.5 Ремонт соединительных элементов и местных подкреплений должен производиться в соответствии с Инструкцией.

5.4. КОНСТРУКЦИИ С ТРЕЩИНАМИ И РАЗРЫВАМИ

5.4.1 Для элементов корпуса с трещинами и разрывами рекомендуются следующие методы ремонта:

замена участка элемента корпуса с трещиной или разрывом;

замена участка элемента корпуса с трещиной или разрывом с модернизацией конструкции;
заварка.

5.4.2 Методы ремонта элементов корпуса с трещинами и разрывами и конструктивные решения, связанные с ним, в каждом конкретном случае подлежат согласованию с Регистром.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА О ЗАМЕРАХ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН, ДЕФОРМАЦИЙ И ТРЕЩИН В ЭЛЕМЕНТАХ КОРПУСА

1. ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1.1 Отчет должен содержать следующие разделы, главы и пункты:

«1. Общие сведения

1.1 Общие данные о ППБУ

1.2 Сведения об организации, выполнившей замеры остаточных толщин

1.3 Сведения об измерительном оборудовании

1.4 Сроки и место проведения замеров

2. Результаты дефектации корпуса

2.1 Элементы корпуса с износами

2.1.1 Поперечные сечения конструкций

2.1.2 Листы

2.1.3 Балки набора

2.1.4 Элементы корпуса с местным и язвенным износом, сварные швы

2.1.5 Соединительные элементы и местные подкрепления

2.2 Элементы корпуса с деформациями

2.2.1 Поперечные сечения конструкций

2.2.2 Бухтины, гофрировки, вмятины и выпучины в понтонах, стабилизирующих колоннах, верхнем корпусе и соединительных конструкциях

2.2.3 Вмятины в раскосах

2.2.4 Соединительные элементы и местные подкрепления

2.3 Элементы корпуса с трещинами и разрывами

2.3.1 Элементы корпуса с трещинами

2.3.2 Элементы корпуса с разрывами».

1.2 К отчету должны быть приложены необходимые чертежи и схемы либо непосредственно по тексту, либо в качестве приложения.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 В гл. 1.1 отчета указываются: габаритные размеры корпуса ППБУ в целом (длина, ширина, высота); размеры корпусных конструкций — понтонов, стабилизирующих колонн, раскосов и верхнего корпуса; осадка в режимах транспортировки, функционирования и выживания; водоизмещение; дата постройки, место постройки; класс общества, присвоенный при постройке; вид и номер текущего освидетельствования; дата начала освидетельствования.

Рекомендуется прилагать к гл. 1.1 отчета схему ППБУ в целом или схемы корпусных конструкций с указанием названия корпусных конструкций, которые будут далее использоваться в тексте отчета.

2.2 Главы 1.2, 1.3 и 1.4 отчета составляются в соответствии с Инструкцией.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕФЕКТАЦИИ КОРПУСА

3.1. Элементы корпуса с износами.

3.1.1 Пункт 2.1.1 отчета составляется для расколов и поперечных несущих связей верхнего корпуса на базе формы 2.1-1 с учетом указаний табл. 3.1.1. К форме 2.1-1 должны прилагаться схемы расколов и поперечных несущих связей верхнего корпуса, на которых должно быть показано расположение дефектуемого поперечного сечения по длине конструкции. Например, если рассматривается поперечное сечение

Форма 2.1-1

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ТОЛЩИН ЛИСТОВ НАСТИЛОВ, ОБШИВКИ, БАЛОК
НАБОРА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ КОНСТРУКЦИИ

Название ППБУ _____ Рег. № _____
от « _____ » _____ г.

1	Наименование конструкции:							
2	Расположение поперечного сечения по длине конструкции			3	Конструкция			
Элемент корпуса	Номер элемента по схеме поперечного сечения	Категория стали	Пост-роечная толщина S_0 , мм	Замерен-ные толщины S_i , мм	Средние значения			Приме-чание
					Остаточ-ная толщина, S_1 , мм	Уменьшение толщины		
						относи-тельное, %	абсолют-ное, мм	
4	5	6	7	8	9	10	11	12

Подпись исполнителя _____ Подпись инспектора Регистра _____

Таблица 3.1.1

Указания по заполнению формы 2.1-1

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование раскоса либо поперечной несущей связи верхнего корпуса
2	Начало и окончание зоны измерений
3	Перечень элементов корпуса, попадающих в поперечное сечение
4	Общепотребительное наименование элемента корпуса (например, лист, стенка балки и т. п.)
5	Номер элемента корпуса, который должен соответствовать прилагаемой схеме поперечного сечения корпуса
6	Категория стали из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции. Если данные о категории стали отсутствуют, указывается предел текучести (например, 235, 315, 355, 390 МПа)
7	Толщина элемента корпуса из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции
8	Замеры остаточных толщин элемента корпуса
9	Средняя остаточная толщина элемента корпуса S_1
10	Уменьшение толщины (износ) элемента корпуса в процентах относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} 100, \%$
11	Уменьшение толщины (износ) элемента корпуса по абсолютной величине относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S_i = S_0 - S_1$
12	Приводятся уточняющие или дополнительные сведения о конструкции: наличие/отсутствие антикоррозионной защиты, замена конструкции или ее участков в предшествующих ремонтах, усиления конструкций и т. п.

поперечной несущей связи верхнего корпуса, то можно указать его расположение (начало и окончание зоны измерений) от правого (или левого) борта в метрах; если рассматривается поперечное сечение раскоса, то следует указывать его расположение от ближайшей стабилизирующей колонны. Кроме того, на схеме должны быть пронумерованы все элементы (листы, стенки и свободные пояски балок), попадающие в поперечное сечение конструкции.

3.1.2 Пункты 2.1.2 и 2.1.3 отчета составляются для листов обшивок, настилов и элементов набора понтонов, стабилизирующих колонн, раскосов, верхнего корпуса и соединительных конструкций на базе формы 2.1-2 с учетом указаний табл. 3.1.2-1, 3.1.2-2. К форме 2.1-2 должны прилагаться схемы дефектуемых листов, балок с указанием их расположения в корпусной конструкции.

3.1.3 Пункты 2.1.4 и 2.1.5 отчета рекомендуется составлять в соответствии с Инструкцией.

3.2. Элементы корпуса с деформациями.

3.2.1 Пункт 2.2.1 отчета составляется для стабилизирующих колонн и поперечных несущих связей верхнего корпуса на базе формы 2.2-1 с

1	Наименование корпусной конструкции:							
2	Конструкция							
Элемент корпуса и его расположение в соответствии со схемой	Индекс элемента	Категория стали	Пост-роечная толщина S_0 , мм	Замерен-ные толщины S_i , мм	Средние значения			Приме-чание
					Остаточ-ная толщина, S_1 , мм	Уменьшение толщины		
						относи-тельное, %	абсолют-ное, мм	
3	4	5	6	7	8	9	10	11

Подпись исполнителя _____

Подпись инспектора Регистра _____

учетом указаний табл. 3.2.1. К форме 2.2-1 должны прилагаться схемы конструкций с указанием расположения дефектуемого поперечного сечения по длине конструкции.

3.2.2 Пункт 2.2.2 отчета составляется для понтонов, стабилизирующих колонн, верхнего корпуса и соединительных конструкций при наличии остаточных деформаций на базе формы 2.2-2 с учетом указаний табл. 3.2.2. К форме 2.2-2 должны прилагаться схемы дефектуемых элементов корпуса с указанием их расположения в корпусной конструкции.

Таблица 3.1.2-1

Указания по заполнению формы 2.1-2 для листов

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование корпусной конструкции (например, горизонтальный поперечный раскос, средняя стабилизирующая колонна правого борта, верхний корпус и т. п.)
2	Наименование конструкции (например, верхняя палуба, правый борт, переборка и т. п.)
3	Наименование листа с указанием его расположения согласно схеме или чертежу
4	Поле заполняется, если в судовой документации имеется индексация листов
5	Категория стали из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции. Если данные о категории стали отсутствуют, указывается предел текучести (например, 235, 315, 355, 390 МПа)
6	Толщина листа из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции
7	Замеры остаточных толщин листа
8	Средняя остаточная толщина листа S_1
9	Уменьшение толщины (износ) листа в процентах относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} 100, \%$
10	Уменьшение толщины (износ) листа по абсолютной величине относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S_i = S_0 - S_1$
11	Приводятся уточняющие или дополнительные сведения о конструкции: наличие/отсутствие антикоррозионной защиты, замена конструкции или ее участков в предшествующих ремонтах, усиления конструкций и т. п.

Таблица 3.1.2-2

Указания по заполнению формы 2.1-2 для балок набора

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование корпусной конструкции (например, горизонтальный поперечный раскос, средняя стабилизирующая колонна правого борта, верхний корпус и т. п.)
2	Наименование конструкции (например, верхняя палуба, правый борт, переборка и т. п.)
3	Наименование балки набора или ее элемента с указанием расположения согласно схеме или чертежу
4	Поле заполняется, если в судовой документации имеется индексация балок набора
5	Категория стали из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции. Если данные о категории стали отсутствуют, указывается предел текучести (например, 235, 315, 355, 390 МПа)
6	Толщина элемента набора из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции
7	Замеры остаточных толщин элемента набора
8	Средняя остаточная толщина элемента набора
9	Уменьшение толщины (износ) элемента набора в процентах относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} 100, \%$
10	Уменьшение толщины (износ) элемента набора по абсолютной величине относительно построечной толщины, определяемое по формуле $\Delta S_i = S_0 - S_1$
11	Указывается сечение (опорное или в пролете), в котором выполнены замеры, а также уточняющие или дополнительные сведения о конструкции: наличие/отсутствие антикоррозионной защиты, замена конструкции или ее участков в предшествующих ремонтах, усиления конструкций и т. п.

Форма 2.2-1

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ КОНСТРУКЦИИ

Название ППБУ_____

Рег. № _____

от «_____» _____ г.

1	Наименование конструкции			
2	Расположение поперечного сечения по длине конструкции	3	Конструкция	
Элемент корпуса	Номер элемента	Замеренная протяженность деформации, м	Примечание	Эскиз конструкции
4	5	6	7	8

Подпись исполнителя _____

Подпись инспектора Регистра _____

Таблица 3.2.1

Указания по заполнению формы 2.2-1

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование стабилизирующей колонны либо поперечной несущей связи верхнего корпуса
2	Начало и окончание зоны измерений
3	Верхняя палуба, либо переборка, либо обшивка колонны
4	Общепотребительное наименование элемента корпуса
5	Номер элемента корпуса, который должен соответствовать эскизу поперечного сечения корпуса, приведенному в графе 8
6	Протяженность <i>i</i> -ой бухтины, гофра, вмятины. В последней строке этой колонки подсчитываются суммарная протяженность бухтин, гофров, вмятин и суммарная протяженность вмятин
7	Вид деформации: бухтина, гофр, вмятина, вмятина с выпучиной
8	Эскиз конструкции с номерами элементов корпуса

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПАРАМЕТРОВ БУХТИН, ГОФРОВ, ВМЯТИН И ВМЯТИН С ВЫПУЧИНАМИ

Название ППБУ _____ Рег. № _____
от « _____ » _____ г.

1	Наименование корпусной конструкции										
2	Конструкция										
Элемент корпуса	Номер элемента	Категория стали	Замеренные параметры для всех типов остаточных деформаций			$\frac{f_0}{b_{\min}}$	Дополнительные замеренные параметры для вмятин			f_6/l	Примечание
			Максимальная стрелка прогиба обшивки (настила) f_0 , мм	Минимальный размер остаточной деформации в плане $b_{\min}$, мм	Максимальный размер остаточной деформации в плане $b_{\max}$, мм		Максимальная стрелка прогиба деформированного участка балки набора f_6 , мм	Длина деформированного участка балки набора l , мм	Отклонение стенки балки набора от первоначального положения d , мм		
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Подпись исполнителя _____ Подпись инспектора Регистра _____

3.2.3 Пункт 2.2.3 отчета составляется для раскосов при наличии вмятин на базе формы 2.2-3 с учетом указаний табл. 3.2.3. К форме 2.2-3 должны прилагаться схемы раскосов с указанием расположения вмятин по длине и поперечному сечению конструкции.

3.2.4 Пункт 2.2.4 отчета рекомендуется составлять в соответствии с Инструкцией.

Таблица 3.2.2

Указания по заполнению формы 2.2-2

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование корпусной конструкции (например, верхний корпус, правый понтон, средняя стабилизирующая колонна правого борта и т. п.)
2	Наименование конструкции (например, борт, обшивка и т. п.)
3	Наименование листа с деформациями
4	Номер элемента в соответствии с чертежом или схемой его расположения в конструкции
5	Категория стали из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции. Если данные о категории стали отсутствуют, указывается предел текучести (например, 235, 315, 355, 390 МПа)
6	Максимальная стрелка прогиба бухтины, гофра либо обшивки (настила) во вмятине, вмятине с выпучиной
7	Минимальный размер остаточной деформации в плане
8	Максимальный размер остаточной деформации в плане
9	Отношение максимальной стрелки прогиба остаточной деформации к $b_{\min}$
10	Максимальная стрелка прогиба деформированного участка балки набора
11	Длина деформированного участка балки набора
12	Отклонение стенки балки набора от первоначального положения
13	Отношение максимальной стрелки прогиба балки набора к длине ее деформированного участка
14	Приводятся уточняющие или дополнительные сведения о конструкции: наличие трещин, разрывов, повышенного местного износа в районе деформации и т. п.

3.3. ЭЛЕМЕНТЫ КОРПУСА С ТРЕЩИНАМИ И РАЗРЫВАМИ

3.3.1 Пункт 2.3.1 отчета составляется для понтонов, стабилизирующих колонн, раскосов, верхнего корпуса и соединительных конструкций при наличии трещин на базе формы 2.3 с учетом указаний табл. 3.3.1. К форме 2.3 должны прилагаться схемы дефектуемых элементов корпуса с указанием их расположения в корпусной конструкции.

3.3.2 Пункт 2.3.2 отчета составляется для корпусных конструкций при наличии разрывов. Форма представления результатов дефектации произвольная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПАРАМЕТРОВ ВМЯТИН В РАСКОСАХ

Название ППБУ _____ Рег. № _____
от « _____ » _____ г.

1	Наименование раскоса:						
2	Месторасположение группы вмятин:						
Число вмятин в группе	Расстояние, b_{ij} , мм, до соседних групп		Длина группы вмятин, мм	Номер вмятины	Максимальная стрелка прогиба группы вмятин $f_{i\beta}$, мм	Стрелка прогиба группы вмятин $f_{p\beta}$, мм	Примечание
3	4	5	6	7	8	9	10

Подпись исполнителя _____ Подпись инспектора Регистра _____

Таблица 3.2.3

Указания по заполнению формы 2.2-3

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование раскоса (например, кормовой горизонтальный поперечный раскос, продольный наклонный раскос правого борта между колоннами № 2 и 4)
2	Месторасположение группы вмятин согласно чертежу или схеме
3	Число вмятин в группе
4, 5	Расстояние b_{ij} , мм, до соседних групп вмятин (заполняется, если таковые существуют)
6	Длина группы вмятин
7	Номер вмятины в группе согласно чертежу или схеме
8	Максимальная стрелка прогиба каждой вмятины, входящей в группу
9	Стрелка прогиба группы вмятин
10	Дополнительные сведения о конструкции

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИН

Название ППБУ _____ Рег. № _____
от « _____ » _____ г.

1	Наименование корпусной конструкции					
2	Конструкция					
Элемент корпуса	Расположение трещины	Категория стали	Замеренные параметры			Эскиз элемента корпуса с трещиной
			λ , мм	t , мм	h , мм	
3	4	5	6	7	8	9

Подпись исполнителя _____ Подпись инспектора Регистра _____

Таблица 3.3.1

Указания по заполнению формы 2.3

Номер поля формы	Содержание
1	Наименование корпусной конструкции или соединительной конструкции
2	Наименование конструкции (например, борт, обшивка и т. п.)
3	Наименование элемента корпуса с трещиной (например, шпангоут, ребро жесткости и т. п.)
4	Указание о расположении трещины со ссылкой на чертеж, схему
5	Категория стали из отчетного (конструктивного) чертежа конструкции. Если данные о категории стали отсутствуют, указывается предел текучести (например, 235, 315, 355, 390 МПа)
6	Длина трещины в элементе корпуса, измеренная по кратчайшему расстоянию между ее началом и концом
7	Раскрытие трещины в элементе корпуса, измеренное как максимальное расстояние между ее кромками
8	Глубина трещины, если трещина не сквозная
9	Эскиз элемента корпуса с трещиной с указанием ее параметров

**РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА
СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
Книга одиннадцатая**

Ответственный за выпуск *Е.Б.Мюллер*

Главный редактор *Г.В.Шелкова*

Редактор *Е.Н.Сапожникова*

Компьютерная верстка *В.Ю.Пирогов*

Лицензия ИД № 04771 от 18.05.01

Подписано к печати 25.04.02. Формат 60 × 84/16.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 8,8.

Уч.-изд. л. 7,9. Тираж 300. Заказ 2104.

Российский морской регистр судоходства
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8