

2-139902-009

РЕГИСТР СССР

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга четвертая

№ 2-09-004

9793

Контрольный



МОСКВА
В/О «МОРТЕХИНФОРМРЕКЛАМА»
1986

ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
Регистра СССР

Сборник нормативно-методических материалов. Книга четвертая/Регистр СССР. — М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. — 136 с.

В сборнике публикуются расчетные методики, инструкции и другие нормативные материалы, одобренные Регистром СССР для использования их при разработке проектов и постройке морских судов на класс Регистра СССР. На эти материалы имеются ссылки в Правилах Регистра СССР.

Сборник является продолжением серии действующих сборников, изданных в 1979 г. (книга первая), в 1980 г. (книга вторая) и в 1983 г. (книга третья). В книге первой приведены Методика расчета корпусных конструкций, методики и инструкции по остойчивости и делению на отсеки, материалы по системам и трубопроводам.

В книге второй приведены расчет для укрепления вырезов в элементах котлов, материалы по грузоподъемным устройствам, некоторые вопросы расчета рудевого устройства и материалы по делению на отсеки.

В книге третьей приведены методики и материалы по корпусным конструкциям, электрическому оборудованию судов, сварке и противопожарной защите.

СОДЕРЖАНИЕ

Корпус

Методика определения гидродинамических нагрузок при неполном заполнении отсеков жидким грузом (балластом)	4
Методика определения изгибающих моментов при ударе волн в развал бортов	7
Методика приближенной оценки участия продольных межлюковых перемычек в общем изгибе корпуса судна	9
Нормативно-методические указания по определению технического состояния корпусов морских судов в эксплуатации	58
Методика оценки устойчивости связей корпуса судна	83
Учет срока службы и условий эксплуатации при определении размеров связей корпуса	115

Устройства

Методика расчета нагрузок в сцепных устройствах толкаемых составов	121
--	-----

Сварка

Методика определения влияния на свариваемость защитных грунтов, удаляемых перед сваркой	129
---	-----

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
ПРИ НЕПОЛНОМ ЗАПОЛНЕНИИ ОТСЕКОВ
ЖИДКИМ ГРУЗОМ (БАЛЛАСТОМ)**

**Вспомогательная информация
необязательного характера**

1. Основные положения

1.1 Методика предназначена для определения гидродинамических нагрузок, действующих на конструкции, ограничивающие отсек (см. 1.2), имеющий длину $l > 0,15L$ и ширину $b > 0,75B$, при неполном заполнении его жидким грузом (балластом). Необходимость проверки прочности конструкций регламентируется в этих случаях требованиями ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР к конструкциям грузовых танков наливных судов и грузовых трюмов нефтенавалочных судов.

1.2 Под отсеком в Методике понимается часть танка (трюма), заключенная между эффективными переборками. Эффективными считаются как непроницаемые, так и отбойные переборки с общей площадью вырезов не более 10% площади переборки.

1.3 Для выявления наиболее неблагоприятного (расчетного) уровня заполнения отсека должны последовательно рассматриваться варианты заполнения на 60 и 80%, а также полного заполнения.

**2. Гидродинамические нагрузки
при частичном заполнении отсека**

2.1 Гидродинамические давления (кПа) на связи непроницаемых конструкций, ограничивающих отсек, определяются применительно к двум положениям судна по отношению к волне: при ходе вразрез с волной и при положении лагом к волне в зависимости от того, что больше:

при ходе вразрез с волной

$$q_v = \rho g (1 + a_v/g) H_i + \sqrt{(\Delta q_{v\psi})^2 + (\Delta q_{v\theta})^2};$$

при положении лагом к волне

$$q_l = \rho g (1 + a_l/g) H_i + \sqrt{(\Delta q_{l\psi})^2 + (\Delta q_{l\theta})^2}.$$

Здесь

$$\Delta q_{v\psi} = \rho g x_i \psi_0 (K_v + a_v/g);$$

$$\Delta q_{l\psi} = 0,5 \rho g x_i \psi_0 (K_v + a_l/g);$$

$$\Delta q_{в0} = 0,5\rho g y_i \theta_0 (K_{л} + a_{в}/g);$$

$$\Delta q_{л0} = 1,3\rho g y_i \theta_0 (K_{л} + a_{л}/g),$$

где ρ — плотность перевозимого груза или балласта, т/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; $a_{в}$ и $a_{л}$ — расчетные вертикальные ускорения центра тяжести отсека при качке на встречном волнении и при положении лагом, определяемые в соответствии с 2.2, м/с²; H_i — отстояние рассматриваемой связи от уровня свободной поверхности жидкости в положении равновесия на тихой воде, м; x_i — отстояние рассматриваемой связи от поперечной вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести отсека в положении равновесия, м; y_i — отстояние рассматриваемой связи от продольной вертикальной плоскости, проходящей через середину расчетной ширины отсека в положении равновесия, м; ψ_0, θ_0 — расчетные амплитуды килевой и бортовой качки соответственно ($\psi_0 = 0,156 - 4L \cdot 10^{-4}$; $\theta_0 = 0,51 - L \cdot 10^{-3}$; $K_{в}, K_{л}$ — коэффициенты динамичности, определяемые по 2.4.

2.2 Расчетные вертикальные ускорения (м/с²) вычисляются по следующим формулам:

при ходе вразрез с волной

$$a_{в} = g \sqrt{0,04 (100/L)^{2/3} + 4\pi^2 (1 + 2,5F_{гв})^4 (x_0/L + 0,05)^2 \psi_0^2 + 0,4 (2\pi/T_{\delta})^4 (y_0^2 \theta_0^2 / g^2)};$$

при положении лагом к волне

$$a_{л} = g \sqrt{0,04 (100/L)^{2/3} + 1,6\pi^2 (x_0/L + 0,05)^2 \psi_0^2 + (2\pi/T_{\delta})^4 (y_0^2 \theta_0^2 / g^2)},$$

где $F_{гв}$ — относительная скорость судна на волнении с учетом ее потери, определяемая по 2.3; x_0 — отстояние рассматриваемой связи корпуса от миделевого сечения судна, м. Принимается положительным для сечений в нос от миделя и отрицательным — в корму от миделя; y_0 — отстояние рассматриваемой связи от диаметральной плоскости судна, м; T_{δ} — расчетное значение периода бортовой качки судна, с.

Значения $a_{в}$ и $a_{л}$ могут быть вычислены по программе, одобренной Регистром СССР.

2.3 Относительная скорость судна на волнении с учетом ее потери при ходе вразрез с волной вычисляется по формуле

$$F_{гв} = F_{г0} (L/10^3 + 0,4),$$

где $F_{г0} = v\sqrt{gL}$; v — скорость судна на тихой воде, м/с.

2.4 Коэффициенты динамичности вычисляются в зависимости от отношения частот собственных колебаний жидкости в отсеке и частот продольной и килевой качки по следующим формулам:

$$K_{в} = \frac{1 - \chi_{1в} (\omega_{в}^2 / \sigma_{в}^2)^2}{1 - \omega_{в}^2 / \sigma_{в}^2} - \omega_{в}^2 / \sigma_{в}^2 [\sigma_{в}^2 / g (b_0 - H_i) + \chi_{2в}] \geq 1;$$

$$K_{\text{л}} = \frac{1 - \chi_{1\text{л}}(\omega_{\text{л}}^2/\sigma_{\text{л}}^2)^2}{1 - \omega_{\text{л}}^2/\sigma_{\text{л}}^2} - \omega_{\text{л}}^2/\sigma_{\text{л}}^2 [\sigma_{\text{л}}^2/g(b_0 - H_i) + \chi_{2\text{л}}] \geq 1,$$

где $\chi_{1\text{в}}$, $\chi_{1\text{л}}$ — функциональные зависимости: $\chi_{1\text{в}} = 2 - 2/[\text{ch}(\pi H_0/b)] - (\sigma_{\text{в}}^2/g)(b_0 - b_1)$; $\chi_{1\text{л}} = 2 - 2/[\text{ch}(\pi H_0/b)] - (\sigma_{\text{л}}^2/g)(b_0 - b_1)$; $\omega_{\text{в}}$, $\omega_{\text{л}}$ — частоты продольной и бортовой качки, 1/с: $\omega_{\text{в}} = \sqrt{2\pi g/L(1 + 2,5F_{\text{Гв}})}$; $\omega_{\text{л}} = 2\pi/T_{\sigma}$; $\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{л}}$ — частоты собственных колебаний жидкости в отсеке, 1/с: $\sigma_{\text{в}} = 0,9\sqrt{\pi g/l \text{th} \pi H_0/l}$; $\sigma_{\text{л}} = 0,9\sqrt{\pi g/b \text{tg} \pi H_0/b}$; l и b — см. 1.1; $\chi_{2\text{в}}$, $\chi_{2\text{л}}$ — функциональные зависимости от H_0/l и H_0/b : $\chi_{2\text{в}} = 2H_0/l(2H_i/H_0 - 1)$; $\chi_{2\text{л}} = 2H_0/b(2H_i/H_0 - 1)$. Здесь H_0 — отстояние уровня свободной поверхности жидкости в положении равновесия от дна отсека, м; b_0 — отстояние центра масс [тяжести] отсека (с грузом) от уровня свободной поверхности, м; b_1 — расстояние по вертикали между центром масс [тяжести] судна и центром масс [тяжести] отсека, м; b_1 положительно, если центр масс [тяжести] судна выше центра масс [тяжести] отсека.

2.5 Расчетные давления на связи, расположенные выше уровня поверхности жидкого груза в положении равновесия на тихой воде на расстоянии до $z = \sqrt{(b/2\theta_0)^2 + (l/2\phi_0)^2}$ (м), следует принимать такими же, как для связей, расположенных на уровне поверхности жидкого груза в указанном положении, и вычислять при $H_i = 0$.

2.6 При определении гидродинамических давлений для судов с переменной по высоте шириной отсека под расчетной следует понимать ширину отсека на уровне свободной поверхности жидкого груза в положении равновесия.

2.7 При определении расчетного давления на отбойные переборки величину H_i следует принимать равной нулю.

3. Приближенное определение гидродинамических нагрузок при частичном заполнении отсека

В начальной стадии проектирования для отсеков, размеры которых удовлетворяют условиям $l > 0,15L$, $b > 0,75B$, расчетные гидродинамические давления (кПа) в районе пересечения продольной и поперечной переборок могут быть определены по следующим приближенным зависимостям:

$$q_{\text{в}} = \rho g (1,3H_i + 0,0115L + 1,91);$$

$$q_{\text{л}} = \rho g (1,3H_i + 0,036L + 2,25),$$

где ρ , g и H_i — см. выше.

Эти нагрузки соответствуют заполнению отсека на 70—80%.

Под ударом волн в развал бортов понимается действие на носовую оконечность корпуса судна гидродинамических сил, приложенных выше действующей ватерлинии. Проблема такого удара характерна для судов, имеющих высокую скорость на волнении и значительный развал бортов в носовой оконечности. Увеличение развала бортов приводит к улучшению мореходных качеств судна (в частности, к уменьшению заливания палубы на волнении), но одновременно связано с возрастанием изгибающих моментов, обусловленных ударом волн в развал бортов. Наибольшие значения рассматриваемых ударных моментов практически совпадают по фазе с наибольшими значениями волновых изгибающих моментов, вызывающих прогиб корпуса, что в итоге приводит к увеличению напряженности корпуса и может быть причиной повреждения его конструкций.

Указанное обуславливает необходимость учета изгибающих моментов, вызванных ударом волн в развал бортов, при нормировании общей прочности судна.

1. Общие положения

Методика распространяется на скоростные транспортные суда неограниченного района плавания длиной 80—300 м, имеющие коэффициент общей полноты корпуса 0,5—0,7 и скорость на тихой воде 13—30 уз.

Методика может быть использована при определении дополнительных изгибающих моментов, вызванных ударом волн в развал бортов, применительно к расчету общей прочности корпуса, когда необходим более точный, чем в ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов, учет влияния формы носовой оконечности и скорости судна на значение изгибающих моментов; при сопоставительных расчетах при выборе оптимальной формы носовой оконечности скоростных судов с большим развалом бортов.

Изгибающие моменты, определяемые по данной Методике, вызваны действием нелинейных гидродинамических сил при ударе волн в развал бортов носовой оконечности судна и являются дополнительными по отношению к изгибающим моментам на тихой воде и волновым изгибающим моментам, определяемым на основе линейной теории продольной качки. Значения ударных изгибающих моментов соответствуют действию на судно экстремальных нагрузок.

Изгибающие моменты, возникающие в корпусе судна при ударе волн в развал бортов, представлены как комбинация изгибающих моментов двух типов: вибрационных, обусловленных изгибными

¹ Выполнена О. А. Осиповым.

колебаниями корпуса, и квазистатических, обусловленных ускорениями судна как твердого тела. Вибрационные изгибающие моменты изменяются во времени приблизительно с частотой первого тона свободных изгибных колебаний корпуса, а квазистатические — в соответствии с законом изменения возмущающей силы. Значения вибрационных изгибающих моментов, определяемые по данной Методике, соответствуют огибающей максимальных значений указанных моментов, а значения квазистатических изгибающих моментов — максимальному значению возмущающей силы.

Положительные значения изгибающих моментов соответствуют перегибу корпуса (палуба растянута), а отрицательные — прогибу (палуба сжата). Начало координат принято в миделевом сечении. Положительное направление оси x соответствует направлению в нос от миделя.

Методика имеет блочную структуру, позволяющую расчетчику понимать физическую сущность выполняемых вычислений. Каждый блок представляет автономную математическую модель со своей входной и выходной информацией (рис. 1).

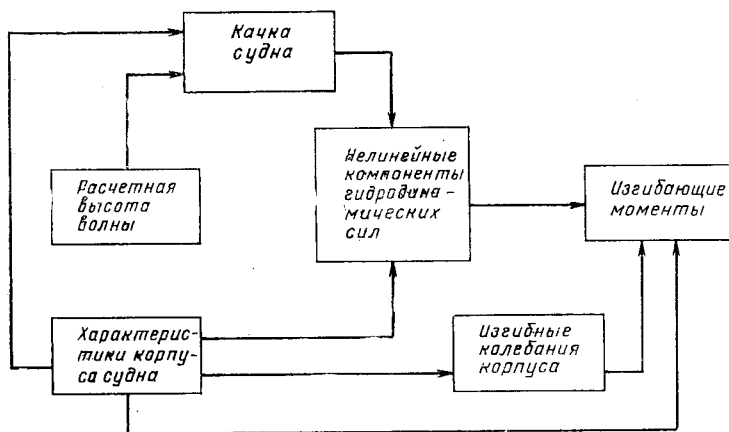


Рис. 1. Диаграмма определения изгибающих моментов, обусловленных ударом волны в развал бортов

Методика оперирует только функциональными зависимостями и допускает ручной счет. Отсутствие табличной и графической информации делает ее удобной для программирования на ЭВМ. Однако учитывая возможность ручного счета, в Методике приведены вспомогательные графики, позволяющие снизить трудоемкость вычислений.

2. Исходные данные

2.1 Главные размерения и характеристики корпуса судна:

L — длина судна по расчетной ватерлинии, м;

B — ширина судна, м*;
 D — высота борта судна, м*;
 d — осадка судна на миделе, м;
 Δ — весовое водоизмещение при осадке d , т;
 C_b — коэффициент общей полноты;
 C_{WL} — коэффициент полноты расчетной ватерлинии;
 $\bar{\rho}_s = \rho_s/L$ — относительный продольный радиус инерции масс судна (ρ_s — продольный радиус инерции);
 I — момент инерции относительно горизонтальной оси поперечного сечения корпуса судна на миделе, м⁴;
 v — максимальная спецификационная скорость судна на тихой воде, уз.

2.2 Геометрические характеристики носовой оконечности судна:

K_{FL} — коэффициент, характеризующий развал бортов носовой оконечности судна;
 D_{FL} — эффективная высота развала бортов, м;
 D_{FB} — расстояние от ватерлинии до верхней палубы (палубы бака) в сечении на $0,05L$ от носового перпендикуляра (НП), м;
 γ — эффективный угол килеватости носовой оконечности, рад;
 l_F — расстояние от носового перпендикуляра до свеса форштевня на уровне палубы бака, м;
 C_{DF} — коэффициент полноты горизонтальной проекции носовой части верхней палубы (включая палубу бака) на участке судна, расположенном в нос от миделевого сечения.

Параметры K_{FL} , D_{FL} , C_{DF} и γ определяются следующими выражениями.

Коэффициент K_{FL} , характеризующий развал бортов

$$K_{FL} = A_D/A_d, \quad (2.2-1)$$

где A_D — площадь горизонтальной проекции верхней палубы (включая палубу бака) на участке судна, расположенном в нос от сечения на $0,2L$ от НП (см. рис. 2), м²; A_d — площадь носовой части ватерлинии на участке судна, расположенном в нос от сечения на $0,2L$ от НП, м².

Эффективная высота развала бортов

$$D_{FL} = 2A_{FL}/(b_D - b_d), \quad (2.2-2)$$

где A_{FL} — площадь участка сечения на $0,05L$ от НП, обусловленная развалом бортов (см. рис. 2), м²; b_D , b_d — полуширина сечения на $0,05L$ от НП на уровне верхней палубы (палубы бака) и ватерлинии соответственно, м.

* См.: 1.2 ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР.

Коэффициент полноты горизонтальной проекции носовой части верхней палубы

$$C_{DF} = A_{DF} / [B(0,5L + l_F)] \geq 0,5, \quad (2.2-3)$$

где A_{DF} — площадь горизонтальной проекции верхней палубы (включая палубу бака) на участке судна, расположенном в нос от миделевого сечения.

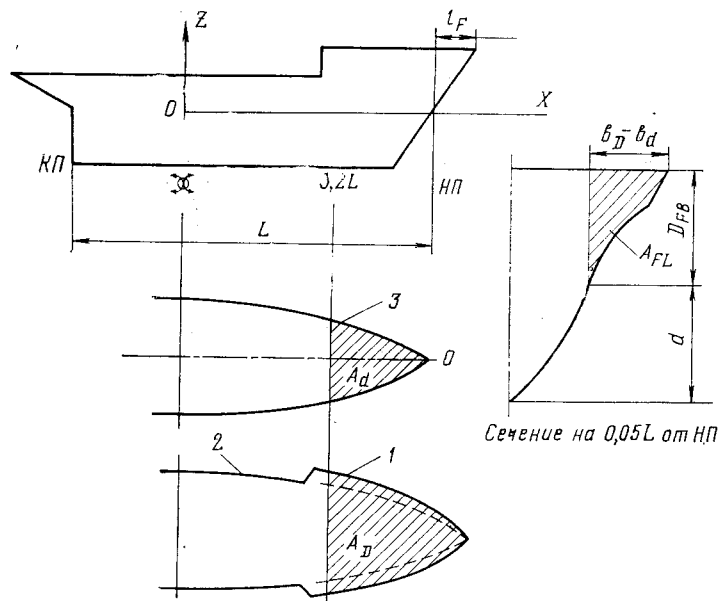


Рис. 2. Геометрические характеристики носовой оконечности судна:

1 — палуба бака; 2 — верхняя палуба; 3 — ватерлиния

Эффективный угол килеватости носовой оконечности

$$\gamma = \arctg \left(\frac{2}{\frac{B}{D_{FL}} C_{DF}^2 \frac{K_{FL} - 1}{K_{FL}}} \right). \quad (2.2-4)$$

2.3 Параметры, характеризующие морское волнение. Расчетная высота волны определяется выражением

$$h = 0,8 \left[10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \right] \leq 2,5 D_{FB} \sqrt{z_{FP}}, \quad (2.3)$$

где \bar{z}_{FP} — см. разд. 3.

3. Параметры, характеризующие продольную качку судна

При расчете ударных изгибающих моментов учитываются следующие параметры, характеризующие продольную качку судна:

z_{ef} — эффективная амплитуда относительного перемещения носовой оконечности судна, м; v_{ef} — эффективная амплитуда относительной вертикальной скорости носовой оконечности судна, м/с; T_e — кажущийся период относительных перемещений носовой оконечности судна, с.

Эффективная амплитуда относительного перемещения носовой оконечности судна определяется выражением

$$z_{ef} = K_z z_{FP}, \quad (3-1)$$

где K_z — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения относительных перемещений по длине судна и влияние нелинейных гидродинамических сил на параметры качки; z_{FP} — амплитуда относительного перемещения носового перпендикуляра судна, м:

$$z_{FP} = 0,5h\bar{z}_{FP}, \quad (3-2)$$

где h — см. 2.3; \bar{z}_{FP} — безразмерная функция, характеризующая влияние главных размерений, загрузки и скорости судна на относительное перемещение носового перпендикуляра.

Функция \bar{z}_{FP} определяется выражением

$$\bar{z}_{FP} = 3,8(0,7 + 0,4C_b)(2,2 - 1,7C_{WL})(0,5 + 11d/L) \times \\ + (0,2 + 3,2\rho_s)(0,7 + \sqrt{K_{Fr}Fr}), \quad (3-3)$$

где K_{Fr} — коэффициент, характеризующий фактическое снижение скорости судна в штормовых условиях; Fr — число Фруда, соответствующее спецификационной скорости судна на тихой воде.

Коэффициент K_{Fr} определяется следующими выражениями:

$$K_{Fr} = [1,6/(1 + C_b)] [K_{Fr_1} + 0,1(L - 100)/100] \geq 0; \quad (3-4)$$

$$K_{Fr_1} = Fr + 0,05 \leq 0,3; \quad (3-5)$$

$$Fr = 0,514v/\sqrt{gL}. \quad (3-6)$$

Коэффициент K_z определяется зависимостью

$$K_z = 0,85[1 - 0,05(1 + K_{Fr}Fr) \left(\frac{K_{FL} - 1}{K_{FL}}\right)^2 (z_{FP}/D_{FB})^2]. \quad (3-7)$$

Кажущийся период относительных перемещений носовой оконечности судна определяется выражением

$$T_e = K_{T1} / (1 + K_{T2} K_{Fr} Fr), \quad (3-8)$$

$$\text{где } K_{T1} = 7,25 + 1,625[(L - 100)/100]; \quad (3-9)$$

$$K_{T2} = 0,2(L/100)^2. \quad (3-10)$$

Эффективная амплитуда относительной вертикальной скорости носовой оконечности судна

$$v_{ef} = (2\pi/T_e)z_{ef}. \quad (3-11)$$

4. Параметры, характеризующие изгибные колебания корпуса судна

При расчете ударных изгибающих моментов учитываются следующие параметры, характеризующие изгибные колебания корпуса судна:

- T_{1v} — период первого тона свободных изгибных колебаний корпуса, с;
- $K_{1v}(\bar{\rho}_e)$ — коэффициент, характеризующий влияние распределения эффективных масс судна на значение вибрационных изгибающих моментов;
- $\varphi_{1v}(x)$ — безразмерная функция, характеризующая распределение по длине корпуса вибрационного изгибающего момента, соответствующего первому тону колебаний;
- $\varphi_{nv}(x)$ — безразмерная функция, характеризующая влияние высших тонов колебаний корпуса на значение вибрационных изгибающих моментов;
- δ_{1v} — логарифмический декремент, соответствующий первому тону колебаний.

Период первого тона свободных изгибных колебаний корпуса определяется выражением

$$T_{1v} = 1,65 \cdot 10^{-5} C_p \sqrt{\frac{\Delta \alpha^3 (1 + C_m) (1 + C_G)}{I}}, \quad (4-1)$$

$$\text{где } C_p = 2 - 0,24 / \bar{\rho}_e; \quad (4-2)$$

$$\bar{\rho}_e = \sqrt{\frac{\bar{\rho}_s^2 + C_m \bar{\rho}_w^2}{1 + C_m}}, \quad (4-3)$$

$$\bar{\rho}_w = 0,03 + 0,25 C_{WL}; \quad (4-4)$$

$$C_m = 0,6 (1 - 1,8 B/L) B/d C_{WL} / (2 - C_{WL}) 1/C_b; \quad (4-5)$$

$$C_G = 23 (B/D - 0,5) (D/L)^2; \quad (4-6)$$

$\bar{\rho}_e$ и $\bar{\rho}_w$ — относительный продольный радиус инерции эффективных масс судна и присоединенных масс воды соответственно; C_m — коэффициент, равный отношению присоединенной массы воды к массе судна; C_G — коэффициент, учитывающий влияние жесткости на срез.

Коэффициент $K_{1v}(\bar{\rho}_e)$ определяется выражением

$$K_{1v}(\bar{\rho}_e) = 0,14 + 1,2 (0,29 - \bar{\rho}_e). \quad (4-7)$$

Безразмерные функции $\varphi_{1v}(x)$ и $\varphi_{nv}(x)$ определяются зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{1v}(x) &= \cos^3 |\pi x/L| \quad \text{при } -0,5 \leq x/L < 0; \\ \varphi_{1v}(x) &= 1 \quad \text{при } 0 \leq x/L \leq 0,05; \\ \varphi_{1v}(x) &= \cos^3 |(\pi/0,9)(x/L - 0,05)| \quad \text{при } 0,05 < x/L \leq 0,5; \end{aligned} \right\} (4-8)$$

$$\varphi_{nv}(x) = 0,3 \sin |2\pi x/L| \quad \text{при } -0,5 \leq x/L \leq 0,5. \quad (4-9)$$

Логарифмический декремент первого тона колебаний

$$\delta_{1v} = 0,05/T_{1v}. \quad (4-10)$$

5. Определение вибрационных изгибающих моментов

Наибольшие значения вибрационных изгибающих моментов (кН·м) в поперечных сечениях корпуса судна определяются выражением

$$M_v(x) = \pm 2\pi K_{1v}(\rho_e)/T_{1v} J_{ef} L \varphi_{1v}(x) [1 + \varphi_{nv}(x)], \quad (5-1)$$

где J_{ef} — эффективный мгновенный импульс, возбуждающий такой же наибольший вибрационный изгибающий момент, как и действие фактических возмущающих сил.

Значение эффективного импульса силы J_{ef} (кН·с) определяется зависимостью

$$J_{ef} = \xi_1 (F_1 F_3 F_4 + F_2) F_5 v_{ef} B^2 L, \quad (5-2)$$

где ξ_1 — коэффициент, учитывающий физические константы и их размерность ($\xi_1 = 0,0157$); F_1, F_2 — безразмерные функции, характеризующие влияние геометрической формы носовой оконечности на значение импульса силы; F_3, F_4, F_5 — безразмерные функции, характеризующие влияние параметров морского волнения, продольной качки и свободных колебаний корпуса на значение импульса силы; v_{ef} — см. формулу (3-11).

Функции F_1 и F_2 определяются выражениями:

$$F_1 = C_1 C_2 (1 + 4l_F/L) [(K_{FL} - 1)/K_{FL}]^3; \quad (5-3)$$

$$F_2 = 0,065 C_1 / K_{FL}^2, \quad (5-4)$$

$$\text{где } C_1 = 0,05 + 2,5 (C_{DF} - 0,5)^2 \quad \text{при } 0,5 \leq C_{DF} \leq 0,8; \quad (5-5)$$

$$C_1 = 0,275 + 3,6 (C_{DF} - 0,8) \quad \text{при } C_{DF} > 0,8;$$

$$C_2 = 1/(2 - \cos \gamma); \quad (5-6)$$

γ, C_{DF}, l_F и K_{FL} — см. 2.2.

Функция F_3 определяется выражениями:

$$F_3 = 0 \quad \text{при } z_{ef} \leq (D_{FB} - D_{FL});$$

$$F_3 = \pi^2 [\xi_2 C_3 / (K_{FL} - 1) - C_4 \xi_3] z_{ef} / D_{FB} \quad \text{при } z_{ef} > (D_{FB} - D_{FL}), \quad (5-7)$$

где

$$C_3 = D_{FB} / D_{FL} [D_{FB} / D_{FL} + K_{FL} (1 - D_{FB} / D_{FL})]; \quad (5-8)$$

$$C_4 = (D_{FB} / D_{FL})^2; \quad (5-9)$$

$$\xi_2 = t_2 - t_1 - (0,25/\pi) (\sin 4\pi t_2 - \sin 4\pi t_1); \quad (5-10)$$

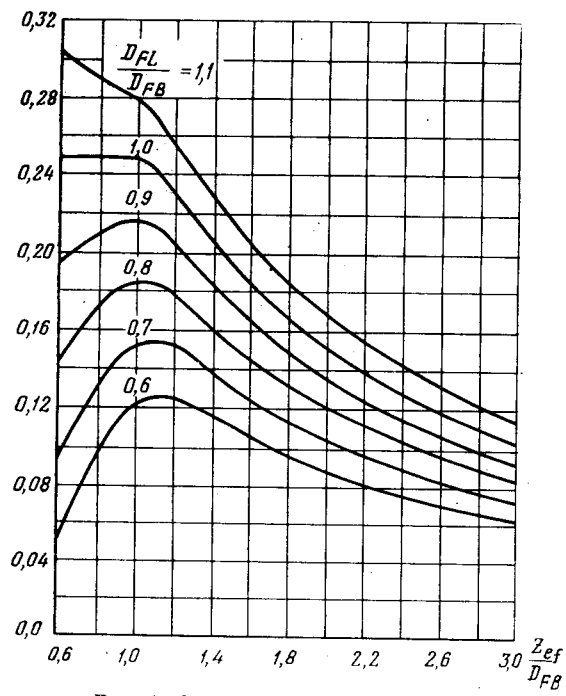


Рис. 3. Значения коэффициента ξ_2
(показаны на оси ординат)

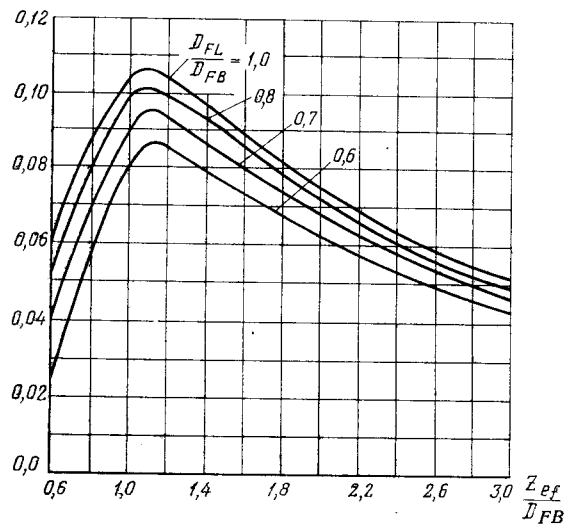


Рис. 4. Значения коэффициента ξ_3
(показаны на оси ординат)

$$\xi_3 = (0,333/\pi) (z_{ef}/D_{FB}) (\sin^3 2\pi t_2 - \sin^3 2\pi t_1); \quad (5-11)$$

$$t_2 = (0,5/\pi) \arccos [(D_{FL} - D_{FB})/z_{ef}]; \quad (5-12)$$

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= 0,5 \quad \text{при } z_{ef}/D_{FB} \leq 1; \\ t_1 &= (0,5/\pi) \arccos (-D_{FB}/z_{ef}) \quad \text{при } z_{ef}/D_{FB} > 1. \end{aligned} \right\} (5-13)$$

Значения коэффициентов ξ_2 и ξ_3 как функция параметров z_{ef}/D_{FB} и D_{FL}/D_{FB} представлены на рис. 3 и 4.

Функция F_4 определяется выражением

$$F_4 = 0,05 (D_{FL}/D_{FB} + 4z_{ef}/D_{FL}), \quad (5-14)$$

где D_{FL} , D_{FB} — см 2.2; z_{ef} — см. 3.

Функция F_5 определяется выражением

$$F_5 = 0,52 \xi_4 C_5^3 C_6, \quad (5-15)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \xi_4 &= 3,6 K_{FL}^2 / (K_{FL}^2 + 2) \quad \text{при } K_{FL} < 2,0; \\ \xi_4 &= 2,4 \quad \text{при } K_{FL} \geq 0,2; \end{aligned} \right\} (5-16)$$

$$C_5 = 10 v_{ef} / (g T_e); \quad (5-17)$$

$$C_6 = (T_{1v}/\tau)^{4/3} \quad \text{при } T_{1v}/\tau \leq 1,0;$$

$$C_6 = (T_{1v}/\tau)^{3/4} \quad \text{при } 1,0 < T_{1v}/\tau < 2,5; \quad (5-18)$$

$$C_6 = 1,988 + 0,25 [1 - (2,5\tau/T_{1v})^2] < 2,2 \quad \text{при } T_{1v}/\tau \geq 2,5.$$

Здесь T_e — см. формулу (3-8); T_{1v} — см. формулу (4-1).

$$\tau = T_e (t_2 - t_1). \quad (5-19)$$

6. Определение квазистатических изгибающих моментов

Наибольшие значения квазистатических изгибающих моментов (кН·м), действующих в поперечных сечениях корпуса судна, определяются следующим выражением:

$$M_{qs}(x) = 0,765 K_{qs}(\bar{\rho}_e) R_{ef} L \varphi_{qs}(x), \quad (6-1)$$

где $K_{qs}(\bar{\rho}_e)$ — коэффициент, характеризующий влияние распределения эффективных масс судна на значение изгибающих моментов; R_{ef} — эффективное значение нелинейных гидродинамических сил, обусловленных ударом волн в развал бортов, кН; $\varphi_{qs}(x)$ — безразмерная функция, характеризующая распределение квазистатического изгибающего момента по длине судна.

Эффективное значение нелинейных гидродинамических сил

$$R_{ef} = g \Delta \bar{R}_{ef}; \quad (6-2)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{R}_{ef} &= 0 \text{ при } z_{ef} \leq (D_{FB} - D_{FL}); \\ \bar{R}_{ef} &= \bar{R}_2 - \bar{R}_3 + \bar{R}_4 \text{ при } z_{ef} > (D_{EB} - D_{FL}), \end{aligned} \right\} (6-3)$$

где D_{FB} , D_{FL} — см. 2.2; \bar{R}_2 , \bar{R}_3 — относительное значение силы, обусловленной соответственно градиентом и ускорением присоединенных масс воды; \bar{R}_4 — относительное значение гидростатической силы; z_{ef} — см. разд. 3.

Гидродинамическая сила \bar{R}_2

$$\bar{R}_2 = \bar{R}_{21} \bar{R}_{22} \bar{R}_{23}. \quad (6-4)$$

Составляющие силы \bar{R}_{21} , \bar{R}_{22} и \bar{R}_{23} определяются по выражениям:

$$\bar{R}_{21} = \xi_5 C_5 v_{ef}^2 / (gd), \quad (6-5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \xi_5 &= 1 + (z_{ef}/D_{FB} - 1) D_{FB}/D_{FL} \text{ при } z_{ef}/D_{FB} < 1; \\ \xi_5 &= z_{ef}/D_{FB} \text{ при } z_{ef}/D_{FB} \geq 1; \end{aligned} \right\} (6-6)$$

C_5 — коэффициент, определяемый по формуле (5-17);

$$\bar{R}_{22} = 0,01 \xi_4 (K_{FL} - 1) / K_{FL}, \quad (6-7)$$

где ξ_4 — коэффициент, определяемый по формулам (5-16) и

$$\bar{R}_{23} = C_2 (1 + 4l_F/L) B / (D_{FL} C_B), \quad (6-8)$$

где C_2 — коэффициент, определяемый по формуле (5-6).

Инерционная сила \bar{R}_3 определяется выражением

$$\bar{R}_3 = 0,0025 \xi_4 \xi_6 C_5 (K_{FL}^2 - 1) / K_{FL}^2 B / (dC_b), \quad (6-9)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \xi_6 &= \xi_5^2 \text{ при } z_{ef}/D_{FB} < 1; \\ \xi_6 &= 1 \text{ при } z_{ef}/D_{FB} \geq 1. \end{aligned} \right\} (6-10)$$

Гидростатическая сила \bar{R}_4

$$\bar{R}_4 = 0,0220 \xi_4 \xi_7 (K_{FL} - 1) / K_{FL} D_{FL} / (dC_b), \quad (6-11)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \xi_7 &= \xi_5^2 \text{ при } z_{ef}/D_{FB} < 1; \\ \xi_7 &= 1 \text{ при } z_{ef}/D_{FB} \geq 1; \end{aligned} \right\} (6-12)$$

Коэффициент $K_{qs}(\bar{\rho}_e)$, характеризующий влияние распределения эффективных масс судна на значение квазистатического изгибающего момента, определяется выражением

$$K_{qs}(\bar{\rho}_e) = 2,44 - 5\bar{\rho}_e, \quad (6-13)$$

где $\bar{\rho}_e$ определяется зависимостью (4-3).

Безразмерная функция $\varphi_{qs}(x)$, характеризующая распределение квазистатического изгибающего момента по длине судна, определяются выражениями

$$\varphi_{qs}(x) = 2l_R \bar{x}^3 + 0,5x^2 + (0,5 - 1,5l_R)\bar{x} + (0,125 - 0,5l_R) - a, \quad (6-14)$$

$$l_R = 0,4 + 0,06(K_{FL} - 1)/K_{FL} \sqrt{z_{ef}/D_{FB}}, \quad (6-15)$$

где $\bar{x} = x/L$; $-0,5 \leq \bar{x} \leq 0,5$;

$a = 0$ при $\bar{x} \leq l_R$;

$a = (x - l_R)$ при $x > l_R$.

9793

7. Суммирование изгибающих моментов, вызванных ударом волн в развал бортов, с волновыми изгибающими моментами и моментами на тихой воде

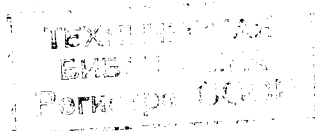
При оценке прочности корпуса судна при действии экстремальных нагрузок расчетный изгибающий момент в вертикальной плоскости равен алгебраической сумме составляющих моментов: волнового ударного и момента на тихой воде.

Расчетные изгибающие моменты должны быть определены для двух случаев деформации корпуса (двух моментов времени): когда волновой и ударный изгибающие моменты вызывают прогиб корпуса (момент удара) и когда волновой и ударный моменты вызывают перегиб корпуса (через половину периода встречи судна с волной после удара). В момент удара волн в развал бортов ударный изгибающий момент равен сумме наибольших значений вибрационного и квазистатического изгибающих моментов. Через половину периода встречи судна с волной ударный изгибающий момент равен только вибрационному изгибающему моменту, поскольку квазистатический момент в это время равен нулю.

Удар волн в развал бортов по фазе совпадает с действием на корпус судна наибольшего значения волнового изгибающего момента, вызывающего прогиб корпуса. В это время расчетный изгибающий момент, действующий в рассматриваемом поперечном сечении корпуса,

$$M(x) = M_w(x) + M_v(x) + M_{qs}(x) + \varepsilon_{sw} M_{sw}(x), \quad (7-1)$$

где $M_w(x)$ — наибольшее значение волнового изгибающего момента, соответствующего прогибу судна в сечении x ; $M_v(x)$ и $M_{qs}(x)$ — наибольшие значения соответственно вибрационного и квазистатического изгибающих моментов в сечении x ; $M_{sw}(x)$ — расчетное значение изгибающего момента на тихой воде в сечении x ; ε_{sw} — коэффициент, учитывающий случайную природу M_{sw} ; если не указано иное, ε_{sw} должен приниматься равным единице.



После удара через время, равное половине периода встречи судна с волной, расчетный изгибающий момент в сечении x

$$M(x) = M_w(x) + M_v(x) \exp(-0,5\delta_{1v}T_e/T_{1v}) + \epsilon_{sw} M_{sw}(x), \quad (7-2)$$

где $M_w(x)$ — наибольшее значение волнового изгибающего момента соответствующего перегибу судна в сечении x ; δ_{1v} — логарифмический декремент первого тона свободных изгибных колебаний корпуса, определяемый по формуле (4-10); T_e — период встречи судна с волной, определяемый по формуле (3-8); T_{1v} — период первого тона свободных изгибных колебаний корпуса, определяемый по формуле (4-1).

В выражение (7-1) волновой и вибрационный изгибающие моменты вводятся со знаком «минус», а в формулу (7-2) — со знаком «плюс». Знак квазистатического изгибающего момента учитывается автоматически.

Значение момента на тихой воде M_{sw} вводится в выражения (7-1) и (7-2) со знаком «минус», если момент на тихой воде вызывает в данном сечении прогиб корпуса, и со знаком «плюс», если момент на тихой воде вызывает перегиб корпуса.

Расчет прочности корпуса проводится при действии большего из моментов, определяемых выражениями (7-1) и (7-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бишоп Р., Прайс У. Гидроупругость судов. — Л.: Судостроение, 1983. — 381 с.
2. Бойцов Г. В., Палий О. М. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов. — Л.: Судостроение, 1974. — 359 с.
3. Временные нормы прочности морских судов. Общая прочность. — Л.: Регистр СССР, 1979. — 35 с.
4. Gran Sverre, Olsen Harald, Tellsgard Finn. Hull response to hydrodynamic forces on bow flare, Norw. Marun. Res., v. 4, No. 3, 1976, p. 29—40.
5. Leibowitz R. C. A Method for Predicting Slamming Forces on and Response of a Ship Hull. DTMB, Report 1691, 1963.
6. Осипов О. А. Приближенное решение задачи о погружении контура в весомую жидкость //Тр. ЦНИИМФ, вып. 140. — Л.: Транспорт, 1972. — С. 57—72.
7. Осипов О. А. К вопросу определения возмущающих сил при слеминге. // Сборник НТО судостроительной промышленности, вып. 262. — Л.: Судостроение, 1977. — С. 113—122.
8. Осипов О. А. Математическое описание форм поперечных сечений корпуса судна применительно к расчету гидродинамических сил на ЭВМ. //Тр. ЦНИИМФ, вып. 233. — Л.: Транспорт, 1978. — С. 21—26.
9. Осипов О. А. Моделирование на ЭВМ колебаний линейной системы при действии сил, произвольно меняющихся во времени. //Прочность и защита от коррозии корпусов морских судов. — Л.: Транспорт, 1984. — С. 9—19.
10. Постнов В. А., Калинин В. С., Ростовцев Д. М. Вибрация корабля. — Л.: Судостроение, 1983. — 248 с.
11. Правила классификации и постройки морских судов. Регистр СССР. — Л.: Транспорт, 1981. — 960 с.
12. Salvaseen N., Tuck-E., Faltinsen O. Ship Motions and Sea Loads, Trans. SNAME, v. 78, 1970, p. 250—287.
13. Frank W. Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids, NSRDC, Rep. 2375, 1967, Washington D.C.
14. Heller S. R., Kammerer J. T. Buckling of Long Slender Ships due to Wave-Induced Whipping. Dynamic Ability of Structures, Pergamon Press, 1967, p. 129—154.

**МЕТОДИКА ПРИБЛИЖЕННОЙ ОЦЕНКИ
УЧАСТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ МЕЖЛЮКОВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК
В ОБЩЕМ ИЗГИБЕ КОРПУСА СУДНА**

**Вспомогательная информация
необязательного характера**

Методика предназначена для определения степени участия продольных межлюковых перемычек (ПМП) в общем изгибе корпуса судна. По Методике вычисляются редуцированные коэффициенты включения ПМП в эквивалентный брус при двух- и трехрядном расположении люков.

Методику следует применять в следующих случаях:

когда при включении ПМП с минимальной величиной редуцированного коэффициента согласно 1.5.4.2 ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР величина момента сопротивления поперечного сечения корпуса недостаточна; при несоответствии конструкции ПМП и поперечных перемычек (ПП) требованиям, предписываемым в ч. II «Корпус» Правил.

Методика состоит из трех частей и двух приложений.

В первой части приводятся способы определения расчетных изгибающих моментов, во второй — даны методы расчета усилий в ПМП, а в третьей — способы определения редуцированных коэффициентов при включении собственного момента инерции и площади ПМП в расчеты характеристик сечений корпуса. В приложении 1 даны рекомендации по составлению расчетных схем связи ПМП с основным корпусом и определению параметров связи. В приложении 2 рассмотрен численный пример использования Методики.

В Методике приняты следующие размерности используемых величин, за исключением случаев, особо оговоренных в тексте:

[м] — линейные размеры;	[м/кН] — линейные податливости;
[м ²] — площади;	[кН/м] — линейные жесткости;
[м ⁴] — моменты инерции;	[1/кН·м] — угловые податливости;
[кН] — усилия;	[кН·м] — угловые жесткости;
[кН·м] — моменты;	[кН/м ²] — модули упругости.

1. Расчетный изгибающий момент

Расчет проводится для расчетного распределения суммарного изгибающего момента $M(x)$ вдоль судна. Волновой изгибающий момент при этом имеет амплитуду согласно 1.5.3.4 ч. II «Корпус», а форма его принимается в виде трапеции единичной высоты, как показано на рис. 1.

Коэффициент полноты формы волнового изгибающего момента $\bar{M}_w = (C_b + 0,65)/3$ равен отношению площади трапеции к площади прямоугольника, основание которого — расчетная длина

судна, а высота l равна единице. Верхняя сторона трапеции $a = (0,07 + C_b/10)L$, а нижняя $b = 2\bar{M}L - a$. Абсциссы середин сторон a и b (точек A и B) определяются абсциссой расчетного сечения X_0 по отношению к миделю:

$$X_A = X_0 \text{ при } |X_0| \leq \Delta\bar{X};$$

$$X_A = \pm \Delta\bar{X} \text{ при } |X_0| > \Delta\bar{X};$$

$$X_B = X_A \pm (\Delta\bar{X} - \Delta\bar{X}) (X_A / \Delta\bar{X})^2,$$

где X_0 принимается положительным для сечений в нос от миделя и отрицательным — в корму.

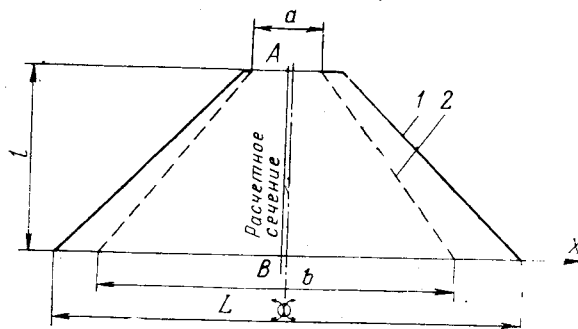


Рис. 1:

1 — огибающая M_w согласно ч. II «Корпус» Правил; 2 — мгновенная форма M_w

Форма волнового изгибающего момента может рассчитываться и непосредственно по согласованной с Регистром методике. Выполнять указанный расчет рекомендуется при нестандартной форме корпуса и скорости судна больше указанной в 1.5.1.3 ч. II «Корпус». В расчетах устойчивости ПМП величину волнового изгибающего момента следует увеличивать в 1,7 раза по сравнению с указанной в 1.5.3 ч. II «Корпус». Если определение указанных моментов выполнено по методике, не согласованной с Регистром, считается, что ПМП их не воспринимают.

2. Методы расчета усилий в ПМП

Ниже приведены два метода расчета усилий в ПМП. Первый можно использовать, если число ПМП по длине трюмной части не меняется, второй — и при изменении числа ПМП, хотя он сложнее и применение его для ручного счета затруднительно.

На основе метода 1 предлагаются приближенные зависимости для определения нижней и верхней границ величины усилия в ПМП для района максимального изгибающего момента, а также способ

приближенного определения этого усилия применительно к регулярированной конструкции палубы.

Метод 1. Может быть использован во всех случаях при расположении ПМП в одной линии. При изменении числа рядов люков по длине судна метод неприменим.

Система уравнений составляется из условий равенства продольных перемещений ПМП суммарным перемещениям корпуса на уровне нейтральной оси ПМП и перемещениям ПП под действием разности усилий (при переходе от предыдущего к последующему люковому вырезу). В матричной форме

$$\{U_{\text{пер}}\} = \{U_{\text{кор}}\} + [A_{\text{св}}]\{\Delta T\}, \quad (2-1)$$

где $\{U_{\text{пер}}\}$ — перемещения ПМП; $\{U_{\text{кор}}\}$ — перемещения корпуса без ПМП; $[A_{\text{св}}]$ — матрица податливости связи ПМП с корпусом; $\{\Delta T\}$ — приращения суммарного усилия в ПМП при переходе через ПП.

Для получения системы уравнений выпишем компоненты системы (2-1). Перемещения ПМП равны суммарному удлинению ПМП:

$$\{U_{\text{пер}}\} = [A_{\text{пер}}]\{T\}, \quad (2-2)$$

где $\{T\}$ — вектор неизвестных усилий в участках ПМП; $\{T\}^T = \{T_1, T_2, T_3, \dots\}^T$;

$$[A_{\text{пер}}] = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ A_1 & A_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_n \end{bmatrix} \text{ — матрица податливости ПМП;}$$

$A_i = \frac{1}{E} \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{dx}{f(x)}$ — податливость ПМП между поперечными перемычками в сечениях x_{i-1} и x_i ; n — число трюмов вдоль ПМП; E — модуль упругости материала корпуса; $f(x)$ — площадь сечения ПМП.

Перемещения корпуса получаются в результате вычитания из перемещений под действием внешнего момента $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}$ перемещений от усилий в ПМП:

$$\{U_{\text{кор}}\} = \{\bar{U}_{\text{кор}}\} - [A_{\text{кор}}]\{T\}, \quad (2-3)$$

где

$$\bar{U}_{\text{кор}}^i = \bar{U}_{\text{кор}}^{i-1} + \frac{1}{E} \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{M(x)r(x)}{I(x)} dx; \quad (2-4)$$

$r(x)$ — расстояние по вертикали между нейтральными осями сечений ПМП и корпуса без ПМП в точках у середин ПП (между ПП ось ПМП принимается прямой); $I(x)$ — момент инерции корпуса без ПМП при его вертикальном изгибе.

Матрица податливости корпуса по отношению к усилиям в ПМП

$$[A_{\text{кор}}] = \begin{bmatrix} \bar{A}_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \bar{A}_1 & \bar{A}_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{A}_1 & \bar{A}_2 & \bar{A}_3 & \dots & \bar{A}_n \end{bmatrix}, \quad (2-5)$$

где $A_i = \frac{1}{E} \int_{x_i}^{x_{i+1}} \left[\frac{r^2(x)}{I(x)} + \frac{1}{F(x)} \right] dx$; $F(x)$ — площадь сечения корпуса без ПМП.

Матрица податливости связи ПМП с корпусом

$$[A_{\text{св}}] = [K_{\text{св}}]^{-1} \quad (2-6)$$

является обратной матрице жесткости (МЖ) связи ПМП с основным корпусом. Правый член уравнения (2-1) равен нулю, так как концы ПМП жестко закреплены к основному корпусу. Для получения матрицы $[K_{\text{св}}]$ (рис. 2) можно воспользоваться любым ме-

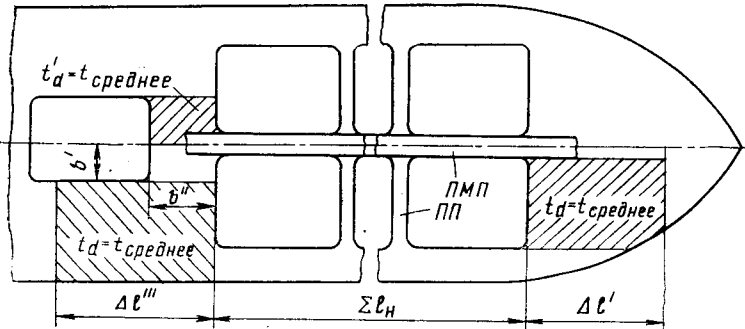


Рис. 2

тодом расчета балочных систем (в частности, методами расчета рам или МКЭ), задавая последовательные единичные перемещения узла пересечения ПМП с ПП. Допускается вычислять лишь диагональные члены $[A_{\text{св}}]$ и $[K_{\text{св}}]$. Ошибка, допускаемая при этом, не превышает 1% при определении усилий T_i .

Указания по идеализации даны в приложении 1.

Подставляя выражения (2-2), (2-3) и (2-6) в уравнение (2-1), получаем систему уравнений относительно неизвестных усилий $\{T\}$.

Для реализации на ЭВМ правый член системы (2-1) удобнее

записать в виде $[A_{\text{св}}]\{\Delta T\} = -\{\bar{A}_{\text{св}}\}\{T\}$, где $[A_{\text{св}}] = \begin{bmatrix} [A_{\text{св}}] & \{0\} \\ \{0\}^T & 0 \end{bmatrix}$ —

— $\begin{bmatrix} \{0\} & [A_{\text{св}}] \\ 0 & \{0\}^T \end{bmatrix}$. Здесь $\{0\}$ и $\{0\}^T$ — нулевой вектор и нулевая строка соответственно, и тогда система уравнений (2-1) примет вид

$$[A]\{T\} = \{\bar{U}_{\text{кор}}\}, \quad (2-7)$$

где $[A] = [A_{\text{пер}}] + [A_{\text{кор}}] + [A_{\text{св}}]$.

Расчеты рекомендуется проводить с двойной точностью (12—16 значащих цифр).

Интегрирование рекомендуется проводить по правилу Симпсона:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} \varphi(x) dx = \frac{x_i - x_{i+1}}{6} [\varphi(x_{i+1}) + 4\varphi\left(\frac{x_{i-1} + x_i}{2}\right) + \varphi(x_i)].$$

В трюмах, в которых ПМП прерываются, рекомендуется считать их непрерывными, принимая площадь ПМП на этих участках на 4—5 порядков меньшей, чем в соседних трюмах.

Расчет по методу 1 значительно упрощается в двух случаях.

1. ПП в концах трюма намного жестче ПМП в пределах трюма:

$$A_{\text{ПМП}}^i \gg A_{\text{св}}^{i+1} + A_{\text{св}}^i. \quad (2-8)$$

При этом напряжения в ПМП равны средним напряжениям в корпусе на уровне нейтральной оси ПМП в пределах трюма. Если максимум изгибающего момента находится в пределах этого трюма, то при условии (2-8) получается верхний предел усилия в ПМП и соответственно максимальное значение редуцированного коэффициента участия ПМП в общем изгибе. При одинаковой конструкции всех ПП и постоянном сечении ПМП вдоль трюмной части судна ПП можно считать жесткими (с ошибкой не более 3%), если податливость каждой ПП

$$A_{\text{св}}^i / A_{\text{ПМП}}^i < 0,002n^2. \quad (2-9)$$

При жестких перемильках матрица податливости связи нулевая и для каждого люка усилия определяются из условия $\{U_{\text{пер}}\} = \{U_{\text{кор}}\}$. Матрица податливости $[A]$ треугольная. Уравнения относительно $\{T\}$ легко разделяются, и усилие в ПМП в районе каждого люка

$$T_i = \frac{\frac{1}{E} \int_{l_i} \frac{M(x)r(x)}{I(x)} dx}{\frac{1}{E} \int_{l_i} \left[\frac{1}{f(x)} + \frac{1}{F(x)} + \frac{r^2(x)}{I(x)} \right] dx}. \quad (2-10)$$

После численного интегрирования по Симпсону

$$T_i = \frac{\frac{M_1 r_1}{I_1} + 4 \frac{M_2 r_2}{I_2} + \frac{M_3 r_3}{I_3}}{\frac{6}{f_i} + \frac{6}{F_i} + \frac{r_1^2}{I_1} + 4 \frac{r_2^2}{I_2} + \frac{r_3^2}{I_3}}, \quad (2-11)$$

где индексы 1, 2 и 3 обозначают значение параметра в начале, середине и конце трюма, а F_i и f_i — средние значения площади сечения корпуса и ПМП в пределах трюма.

2. ПП во всей трюмной части мягкие, и усилия во всех участках ПМП одинаковые. Условие

$$\sum_1^{n-1} A_i \ll \frac{1}{\sum_1^{n-1} K_{св}}, \quad (2-12)$$

где $\sum_1^{n-1} K_{св}$ — сумма диагональных членов матрицы жесткости связи, показывает, что суммарная податливость ПМП намного меньше суммарной податливости ПП. При одинаковой конструкции всех ПП и постоянном сечении ПМП вдоль трюмной части судна ПП можно считать мягкими, если

$$\frac{A_{св}^i}{A_{пер}^i} > 1,5n^2. \quad (2-13)$$

При этом получается минимальное значение для редуционного коэффициента участия ПМП в общем изгибе.

Расчетную зависимость для средней величины усилия в ПМП вдоль всей трюмной части получим из последней строки матричного уравнения (2-7), представленного в развернутом виде:

$$T_{ср} = \frac{U_{кор}^n}{\sum_{i=1}^n (A_i + \bar{A}_i)} = \frac{\sum_{i=1}^n \int_{l_i} \frac{M(x)r(x)}{I(x)} dx}{\sum_{i=1}^n \int_{l_i} \left[\frac{1}{f(x)} + \frac{1}{F(x)} + \frac{r^2(x)}{I(x)} \right] dx}. \quad (2-14)$$

После численного интегрирования с использованием правила Симпсона для каждого трюма получаем

$$T_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_1 r_1}{I_1} + 4 \frac{M_2 r_2}{I_2} + \frac{M_3 r_3}{I_3} \right) l_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{6}{f_i} + \frac{6}{F_i} + \frac{r_1^2}{I_1} + 4 \frac{r_2^2}{I_2} + \frac{r_3^2}{I_3} \right) l_i}. \quad (2-15)$$

Индексы 1, 2 и 3 обозначают значение параметра в начале, в середине и в конце i -го трюма, а l_i — длина i -го трюма, включая глубину заделки для концевых трюмов.

При одинаковой конструкции всех ПП и постоянном сечении ПМП вдоль трюмной части, а также при равномерной загрузке в районе трюмной части судна усилие в ПМП в трюме, в котором изгибающий момент имеет максимум (минимум), если в этом трюме ПМП не заканчиваются, может быть определено приближенно по формуле

$$T = T_{\max} \kappa + T_{ср} (1 - \kappa), \quad (2-16)$$

где T_{\max} — усилие при жестких ПП — согласно формуле (2-10);

$T_{\text{ср}}$ — усилие при мягких ПП — согласно формуле (2-14); κ — коэффициент заделки ПМП на ПП:

$$\kappa = \frac{1}{1+cA}. \quad (2-17)$$

Здесь c — коэффициент, определяемый по следующей таблице в зависимости от числа трюмов вдоль ПМП.

Число трюмов	3	4	5	6	7	8	9	10
c	7,0	6,0	5,0	4,1	3,3	2,8	2,6	2,4

\bar{A} — относительная податливость связи $\bar{A} = A_{\text{ПП}}/A_{\text{ПМП}}$

Податливость ПМП $A_{\text{ПМП}}$ вдоль трюмной части ее длины Σl_n (без учета глубины заделки — см. рис. 2) определяется по формуле

$$A_{\text{ПМП}} = \frac{\Sigma l_n}{E f_{\text{ПМП}}^{\text{ср}} m},$$

где m — число ПМП по ширине судна. Усредненная площадь одной ПМП $f_{\text{ПМП}}^{\text{ср}}$ вдоль Σl_n определяется по формуле

$$f_{\text{ПМП}}^{\text{ср}} = \frac{\Sigma l_n}{\sum_n (l_{\text{тр}}/f_{\text{ПМП}})},$$

где $l_{\text{тр}}$, $f_{\text{ПМП}}$ — соответственно длина n -го трюма между нейтральными осями ПП и усредненная площадь ПМП в этом трюме (ПМП с усредненной площадью получает такое же удлинение, как и ПМП с переменным сечением, под действием одного и того же продольного усилия).

Податливость поперечной связи определяется как среднее значение податливостей ПП по концам трюма, полученных по приближенной процедуре приложения 1, или соответствующих диагональных членов матрицы связи $[A_{\text{св}}]$. Осредненная податливость определяется по формуле

$$A_{\text{ПП}} = \frac{2}{1/A_{\text{ПП}}^{\text{к}} + 1/A_{\text{ПП}}^{\text{н}}},$$

где $A_{\text{ПП}}^{\text{к}}$, $A_{\text{ПП}}^{\text{н}}$ — соответствующие податливости ПП в кормовой и в носовой частях трюма.

Метод 2. Может быть использован во всех случаях, когда связь ПМП с основным корпусом осуществляется через палубные конструкции. Его использование обязательно, если число ПМП меняется по длине судна и это изменение происходит на жесткой ПП, удовлетворяющей условию (2-9). В отличие от метода 1, где система уравнений составлялась относительно точек пересечения оси ПМП с ПП, в методе 2 система уравнений составляется из ус-

ловий равенства продольных перемещений палубной конструкции (с учетом продольной жесткости ПМП) продольным перемещениям корпуса без ПМП в узлах их связи на уровне нейтральной оси ПМП:

$$\{U_{кор}\} = \{U_{пал}\}, \quad (2-18)$$

где

$$\{U_{кор}\} = \{\bar{U}_{кор}\} - [A_{кор}]\{T\}; \quad (2-19)$$

$$\{U_{пал}\} = [\bar{A}_{пал}]\{T\}; \quad (2-20)$$

$\{\bar{U}_{кор}\}$ и $[A_{кор}]$ — см. формулы (2-3) и (2-4); $[\bar{A}_{пал}] = \{0\}[A_{пал}] - [A_{пал}]\{0\}$ и срезана справа; $[A_{пал}] = [K_{пал}]^{-1}$ — матрица податливости; $[K_{пал}]$ — матрица жесткости палубы, которую получаем, давая последовательно единичные продольные перемещения узлам пересечения палубных конструкций с основным корпусом.

Систему уравнений относительно продольных усилий $\{T\}$ получим, подставляя выражения для $\{U_{кор}\}$ и $\{U_{пал}\}$ в формулу (2-18):

$$[A]\{T\} = \{\bar{U}_{кор}\}, \quad (2-21)$$

где $[A] = [\bar{A}_{пал}] + [A_{кор}]$.

Для получения матрицы $[A_{пал}]$ удобно использовать стандартную процедуру МКЭ и метод суперэлементов. При этом $r(x)$ должно сохранять заложенный в формуле (2-3) смысл, т. е. матрица жесткости палубы должна определяться для узлов, лежащих на уровне нейтральной оси ПМП.

3. Определение редуционных коэффициентов

Редуционный коэффициент ϕ собственного момента инерции ПМП при определении характеристик поперечных сечений судового корпуса при его вертикальном общем изгибе принимается равным 0,7 для всех трюмов. Если конструкция связи ПМП с основным корпусом в концевом трюме не обеспечивает заделку ПМП при вертикальном изгибе, (конец ПМП считается заделанным, если ПМП связана с продольной переборкой двумя поперечными переборками или двумя платформами), то ϕ принимается равным 0,5 в середине концевого трюма с линейным уменьшением до $\phi = 0$ на поперечной переборке в конце трюмной части.

Редуционный коэффициент ψ для площади поперечного сечения ПМП (учитываемой в расчете характеристик расчетного поперечного сечения корпуса) равен отношению напряжений на уровне нейтральной оси ПМП к напряжениям в основном корпусе на этом же уровне от оси корпуса без ПМП (с 5%-ным запасом в сторону уменьшения ψ):

$$\psi = 0,95 \frac{\sigma_{ПМП}}{\sigma_{пал}} = \frac{0,95T/f}{\frac{M_{расч}}{I} r - T \left(\frac{r^2}{I} + \frac{1}{F} \right)} = \frac{0,95T/f}{(M_{расч} - T r) \frac{r}{I} - \frac{T}{F}}. \quad (3-1)$$

Если редуционный коэффициент ψ определялся отдельно для составляющих суммарного изгибающего момента, редуционный коэффициент по отношению к суммарной форме

$$\psi = \frac{\sum_{k=1}^{k_0} \psi_k M_k}{\sum_{k=1}^{k_0} M_k}, \quad (3-2)$$

где k_0 — число составляющих суммарного момента; ψ_k — редуционный коэффициент по отношению к k -й форме момента; M_k — амплитуда k -й составляющей момента в расчетном сечении.

Например, при раздельном учете изгибающих моментов: волнового, динамического и на тихой воде, имеющих соответствующие амплитуды в расчетном сечении M_w , M_d и M_{sw} ,

$$\psi = \frac{\psi_w M_w + \psi_d M_d + \psi_{sw} M_{sw}}{M_w + M_d + M_{sw}},$$

где ψ_w , ψ_d , ψ_{sw} — редуционные коэффициенты, соответствующие формам составляющих суммарного момента.

Если форма кривой динамического изгибающего момента неизвестна, редуционный коэффициент ψ_d принимается равным нулю. Амплитуда динамического момента M_d при этом принимается равной $M_d = M_w [\alpha_x(F) - \alpha_x(F=1,5)]$, где α_x — см. табл. 1.5.3.3 ч. II «Корпус».

При использовании настоящей Методики для оценки прочности и устойчивости палубных конструкций полученные значения усилий в ПМП должны быть увеличены на 5%. При проверке прочности расчет должен производиться для наибольшего значения и наиболее неблагоприятного распределения по длине судна изгибающего момента согласно 1.5.3.3 ч. II «Корпус». Проверка устойчивости выполняется для наибольшего по величине прогибающего момента согласно 2.9.2.2 ч. II «Корпус».

Приложение 1

ИДЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНОГО КОРПУСА, ПРОДОЛЬНЫХ МЕЖЛЮКОВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК И ПЕРЕМЫЧЕК, СВЯЗЫВАЮЩИХ ИХ С ОСНОВНЫМ КОРПУСОМ

Так как любое уменьшение момента инерции поперечного сечения корпуса приводит к завышению степени участия ПМП, то в данной Методике при расчете моментов инерции поперечных сечений корпуса учитываются и все прерывистые продольные связи верхней палубы. Включение этих связей в расчетное сечение здесь и далее во всех расчетах принимается согласно рис. 1.

Другие связи, учет которых может существенно повлиять на значение момента инерции корпуса, также должны включаться в рас-

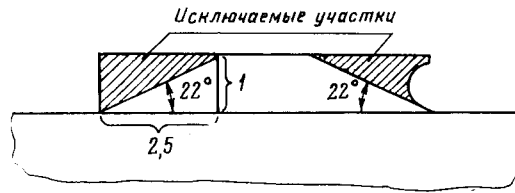


Рис. 1

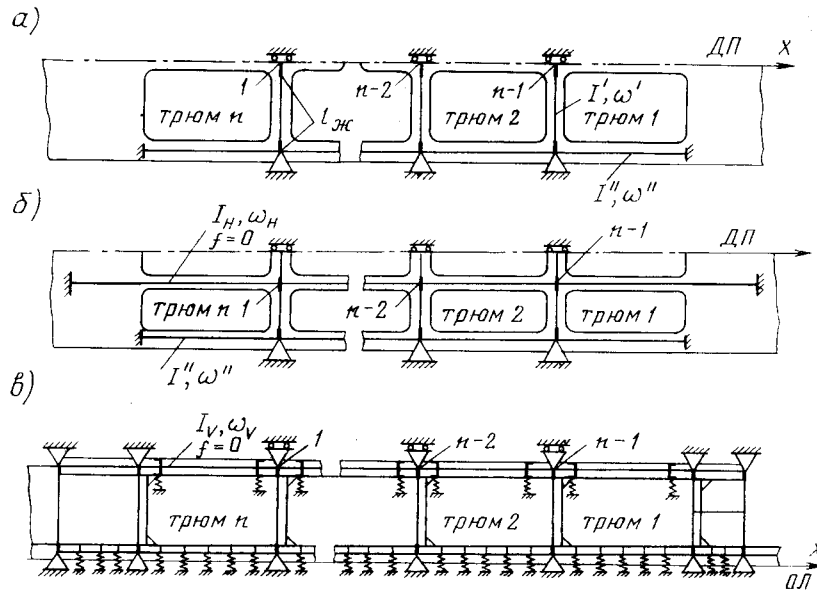


Рис. 2. Расчетные схемы метода 1:

а) ПМП в ДП; б) ПМП при трех рядах люков; в) ПМП — связь через стойки переборок.
 Условные обозначения: с 1 до $n-1$ — номера узлов, для которых определяется МЖ связи ПМП — $[K_{св}]$

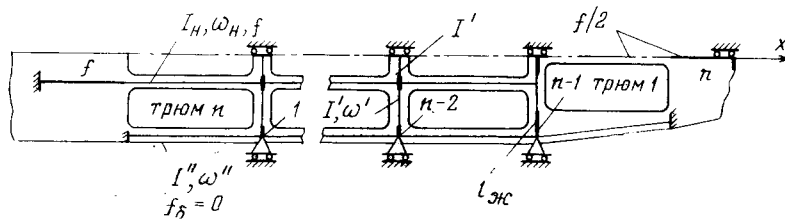


Рис. 3. Расчетная схема метода 2.

Условные обозначения: с 1 до n — номера узлов, для которых определяется МЖ палубы — $[K_{пал}]$

четное сечение. При этом рекомендуется осреднять по длине трюма получаемую добавку к значению момента инерции.

ПМП и конструкции, связывающие их с основным корпусом, идеализируются балками вдоль нейтральных осей их сечений. Схемы идеализации конструкций, связывающих продольные межлюковые переборки с корпусом, приведены на рис. 2 для метода 1 и на рис. 3 для метода 2.

Из рисунков 2 и 3 видно, что расчет проводится для полусечения корпуса. Поэтому в Методике следует использовать характеристики полусечения основного корпуса, а также половинные значения характеристик элементов конструкций, находящихся в ДП. Из условия симметрии углы поворота сечений всех узлов, лежащих в ДП (исключая повороты в плоскости ДП), считаются равными нулю. Длины жестких участков ($l_{ж}$) ПП следует принимать равными расстояниям от комингсов люков до нейтральных осей балок, моделирующих ПМП и борт (см. рис. 2). Длина $l_{ж}$ для ПП у борта при изменении ширины выреза принимается равной расстоянию от нейтральной оси борта до более удаленного от борта комингса люка (см. рис. 3 для $l_{ж}$ у носового люка). Если на рассматриваемой ПП ПМП заканчивается, то длина $l_{ж}$ принимается равной нулю.

Особенности идеализации палубы в методах 1 и 2

В методе 1 отдельно учитываются жесткости основного корпуса при общем изгибе и растяжении (усилием в ПМП), продольная ПМП и связи ПМП с корпусом. Уравнения относительно усилий в ПМП записываются из условия равенства перемещений ПМП перемещениям корпуса плюс перемещения изгиба палубной конструкции. Поэтому в методе 1 $[K_{св}]$ должна учитывать только изгибную и сдвиговую жесткости палубных конструкций в узлах их пересечения с ПМП при отсутствии смещений от общего изгиба. При трех рядах люков учитывается лишь изгибная жесткость ПМП, а площадь ее при растяжении принимается равной нулю (см. рис. 2, а). Матрицу жесткости связи $[K_{св}]$ получаем, давая единичные перемещения по X узлам ПМП в местах пересечения с поперечными связями. Чтобы избежать решения сложной пространственной задачи, жесткость связи ПМП с корпусом через рамные стойки поперечных переборок определяется отдельно (см. рис. 2, в). Здесь следует отметить, что учитывать эту связь необязательно, так как ее влияние обычно намного меньше, чем влияние связи через ПП, и поэтому $[\bar{K}_{св}]$ целесообразно вычислять, лишь если высота стоек того же порядка, что и ширина ПП, т. е. под ПМП располагаются полупереборки. Упругие опоры (их можно заменить упругим основанием) учитывают влияние флоров. Аналогичная схема может быть использована и при связи ПМП с корпусом через двойные поперечные переборки и двойные борты. Более точное решение задачи возможно при рассмотрении системы связанных перекрытий (поперечной переборки, борта и днища), но это связано со значи-

тельным усложнением задачи и поэтому целесообразно лишь при комплексном анализе прочности корпуса.

В общем случае матрица жесткости связи $[K_{св}]$ получается суммированием матриц жесткости связи через ПП и через стойки под ПМП, т. е.

$$[K_{св}] = [K_{св}] + [\bar{K}_{св}]. \quad (1)$$

В методе 2 идеализируется вся палубная конструкция (см. рис. 3), включая ПМП, ПП и бортовые балки (однако продольная жесткость последних при этом не учитывается), и ее продольные перемещения приравниваются перемещениям основного корпуса в узлах связи у борта на уровне нейтральной оси ПМП. В схеме на рис. 3 продольная жесткость бортовых балок учтена при определении характеристик сечений корпуса. Матрицу жесткости палубы $[K_{пал}]$ получаем, давая последовательно единичные продольные перемещения узлам связи палубной конструкции с основным корпусом.

В обоих методах задача обычно сводится к решению плоской рамы (показанной на рис. 2 и 3) и только при открытом профиле поперечной межлюковой перемычки и несовпадении по высоте центра ее изгиба с нейтральной осью ПМП — к трехмерной балочной конструкции. Приблизительно оценить влияние разнесения осей продольных и поперечных перемычек можно, если к каждому элементу i -й строки матрицы податливости плоской рамы добавить элементы $\Delta A_i = \theta_i l_i (\theta_i)$ — угол поворота i -го узла под действием системы моментов $M_i = k_{ii} l_i$; l_i — расстояния между осями изгиба).

Допускается также приближенно учитывать разнесение осей продольных и поперечных перемычек добавлением к диагональным членам матрицы $[A_{св}]$ (или $[A_{пал}]$ в методе 2) податливостей

$$\Delta A_i = \frac{e_i^2}{k_{ii}} \cong e_i^2 \frac{l_{тр}}{6,7EI_{v_{ПМП}}}, \quad (2)$$

учитывающих эксцентриситет приложения усилий к ПМП, где $l_{тр}$ — длина трюма, которая при разных длинах трюма в корму от ПП ($l'_{тр}$) и в нос от ПП ($l''_{тр}$) вычисляется как $l_{тр} = (2l'_{тр} l''_{тр}) / (l'_{тр} + l''_{тр})$; $I_{v_{ПМП}}$ — момент инерции ПМП при его изгибе в ДП. Если ПМП заканчивается на ПП, то податливость ΔA_i удваивается.

Если профиль ПП открытый, к диагональным членам матрицы $[A_{св}]$ или $[A_{пал}]$ необходимо добавить член

$$\Delta A_i = \frac{1,10}{Et_{пал}}, \quad (3)$$

учитывающий местную продольную податливость палубного настила (толщиной $t_{пал}$) вне линии вырезов люков у конца ПП.

Рекомендуется дополнительные податливости ПП $\Delta A_i = \Delta A_i' + \Delta A_i''$ учитывать редуцированием площади сдвига ПП коэффициентом $\psi_\omega = 1/[1 + \Delta A_i(G\omega_i/b_0)]$; $\omega_{пр} = \psi_\omega \omega_i$.

Коэффициент ψ_ω получен из условия равенства податливостей суммарной (сдвига и дополнительной) и сдвига после приведения: $b_0/G_\omega + \Delta A = b_0/(G_\omega \psi_\omega)$.

Если ПМП одна и заканчивается на ПП шахты МО или носового одиночного люка, допускается податливость ПП учитывать редуцированием площади соответственного концевго участка ПМП и принимать его заделанным жестко на корпусе в точке, расположенной у нейтральной оси ПП. Эквивалентная площадь первого (n -го) участка ПМП $f_{эkv}$ получается из условия одинаковой податливости эквивалентного участка ПМП и суммарной податливости участка ПМП и концевой ПП:

$$f_{эkv} = \frac{f}{1 + (EA_0/l_{тр})f}, \quad (4)$$

где f , $l_{тр}$ — площадь ПМП и длина концевго трюма до нейтральной оси концевой ПП соответственно; A_0 — податливость концевой ПП.

Рассчитывать $[K_{св}]$ или $[K_{пал}]$ рекомендуется с помощью ЭВМ и стандартных пакетов программ расчета балочных систем или плоских рам.

Применительно к методу 1 при учете связи ПМП с основным корпусом только через ПП можно воспользоваться следующими формулами для расчета диагональных элементов матрицы $[A_{св}]$:

$$A_{пп} = \frac{b_0}{EI_{пп}} \left[2,6 \frac{I}{\omega} + \frac{(b_0 + b_2)^3 - b_2^3}{3b_0} + m_1 \bar{\alpha}_1^* b - m_2 \left(\frac{b_0}{2} + b_2 \right) \right] + \Delta A, \quad (5)$$

где

$$m_1 = \frac{b_0/2 + b_1 + b \alpha^*_{2.}}{1 + \alpha^*_{1.} + \alpha^*_{2.}};$$

$$m_2 = \frac{b_0/2 + b_2 + b \alpha^*_{1.}}{1 + \alpha^*_{1.} + \alpha^*_{2.}};$$

$$\bar{\alpha}^*_{1.} = (EI_{пп}/b_0) \alpha^*_{1.};$$

$$\bar{\alpha}^*_{2.} = (EI_{пп}/b_0) \alpha^*_{2.}.$$

Здесь $I_{пп}$ — момент инерции ПП при изгибе в плоскости палубы; $\omega_{пп}$ — площадь сдвига ПП при ее изгибе в плоскости палубы; b_1 , b_2 — длины жестких участков ПП; $\alpha^*_{1.}$, $\alpha^*_{2.}$ — податливости

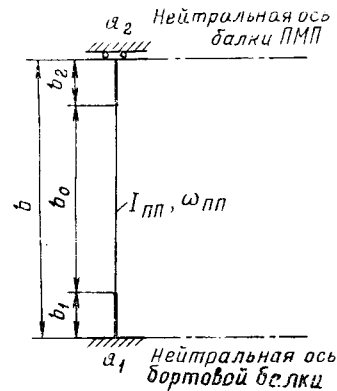


Рис. 4

упругих заделок концов ПП; b — длина ПП между нейтральными осями ПМП и бортовой балки; ΔA — дополнительная податливость при разнесении осей ПП и ПМП.

Податливость заделки $\alpha^*_{22} = 0$ при двух рядах люков.

В общем случае податливости заделок α^*_{11} и α^*_{22} можно определить по рис. 5 для каждой ПП.

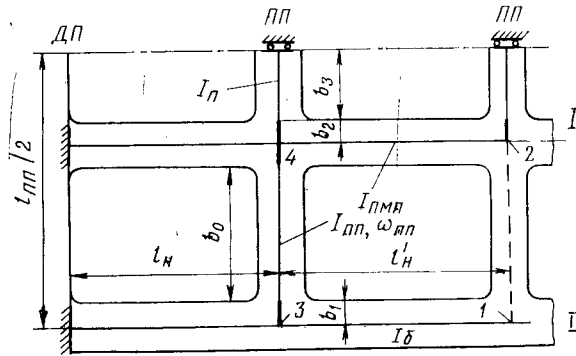


Рис. 5:

I — балка ПМП; II — бортовая балка

При двух рядах люков $\alpha^* = \alpha^*_{\text{ПМП}} = \alpha^*_{\text{ПМП}} = 0$.

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_{11} &= \alpha^*_{\text{ПП}} [1 + 3b_2/b_0 + 3(b_2/b_0)^2]; \\ \alpha^*_{22} &= \alpha^*_{\text{ПП}} [1 + 3b_1/b_0 + 3(b_1/b_0)^2]; \\ \alpha^*_{12} = \alpha^*_{21} &= \alpha^*_{\text{ПП}} [3(b-2b_1)/2b_0 + 3(b-b_1)/b_0(b_1/b_0) - 1]. \end{aligned} \right\} (6)$$

Угловые податливости от ПП в узлах 3 и 4 соответственно:

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_{3'} &\cong \alpha^*_{11} - \alpha^*_{12}^2 / [\alpha^*_{22} + (\alpha^* \alpha^*_{\text{ПМП}}) / (2\alpha^* + \alpha^*_{\text{ПМП}})]; \\ \alpha^*_{4'} &\cong \alpha^*_{22} - \alpha^*_{12}^2 / (\alpha^*_{11} + 0,5\alpha^*_6). \end{aligned} \right\} (7)$$

Угловые податливости справа от узлов 3 и 4 соответственно:

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_{3} &= 1 / [(1/\alpha^*_6) + (1/\alpha^*_{3'})]; \\ \alpha^*_{4} &= 1 / [(4/3)(1/\alpha^*_{\text{ПМП}}) + (1/\alpha^*_{4'}) + (1/\alpha^*)]. \end{aligned} \right\} (8)$$

Угловые податливости слева от узлов 1 и 2 соответственно:

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_{1'} &= \alpha^*_{6'} [1 - 1/4(1 + \alpha^*_3/\alpha^*_{6'})]; \\ \alpha^*_{2'} &= \alpha^*_{\text{ПМП}} [1 - 1/4(1 + \alpha^*_4/\alpha^*_{\text{ПМП}})]. \end{aligned} \right\} (9)$$

Угловые податливости в узлах 1 и 2 соответственно:

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_1 &= (\alpha^*_{1'} \alpha^*_6) / [(4/3)(1/\alpha^*_6) + (1/\alpha^*_{1'})] — \\ &\quad \text{для ПП концевых трюмов;} \\ \alpha^*_1 &= 0,5\alpha^*_{1'} — \text{для ПП средних трюмов;} \end{aligned} \right\} (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha^*_{*2} &= 1/[(4/3) (1\alpha^*_{\text{ПМП}}) + (1 + \alpha^*) + (1/\alpha^*_{*2})] - \\ &\text{для ПП концевых трюмов;} \\ \alpha^*_{*2} &= 0,5\alpha^*_{*2} - \text{для ПП средних трюмов.} \end{aligned} \right\} (11)$$

Дополнительная податливость

$$\Delta A = l^2 / (C_k + C_n) + \Delta A'', \quad (12)$$

где l — расстояние по вертикали между нейтральной осью ПМП и центром изгиба ПП; $C_k \cong EI_k^{\text{ПП}} / [2,6(b_0 + b_2)]$ — жесткость балки ПП при скручивании; $C_n \cong 6,7EI_v^{\text{ПМП}} / l_{\text{ПМП}}$ — жесткость ПМП при изгибе в ДП; $I_k^{\text{ПП}} = \sum_i b_i t_i^3 / 3$ — момент инерции ПП при чистом кручении (b_i, t_i — ширина и толщина составляющих его элементов); $l_{\text{ПМП}}$ — длина ПМП между осями ПП или пиллерсами.

Использование приведенных зависимостей допустимо при регулярной структуре палубных вырезов и приводит к ошибке при определении усилий в ПМП, не превышающей 1—2%.

Определение характеристик балок производится общепринятыми методами. Ширины присоединенных поясков обшивки борта, переборок и стенок подпалубных коробок в каждую сторону от настилов палуб, платформ и подпалубных коробок следует принимать следующими.

Для балок, моделирующих борт (рис. 6): $a = \min(l_{\text{тр}}/12; b_{\text{пал}}/4)$, где $b_{\text{пал}}$ — ширина палубы поперечной перемычки; $l_{\text{тр}}$ — длина трюма между серединами ПП.

Для балок поперечных перемычек (рис. 7): $a' = l_{\text{ПП}}/12$; $b = l_k/24$, где $l_{\text{ПП}}$ — расстояние между нейтральными осями балок, моделирующих борта; l_k — протяженность непрерывной части длины поперечных комингсов, включая кницы на их концах (рис. 8).

Площадь сдвига балок ПП принимается равной суммарной поперечной площади палуб и платформ между люками, расположенных по высоте ПМП.

Ширина присоединенных поясков обшивки поперечных переборок, днища и настила второго дна (для расчетной схемы, показанной на рис. 2, в) принимается: для вертикальной стойки $a = l_{\text{ст}}/12$; для днищевой балки $a' = l_{\text{тр}}/12 \leq h_{\text{ст}}/4$, где $l_{\text{ст}}$ — пролет стойки поперечной переборки, измеренный между нейтральными осями ПМП и двойного дна; $h_{\text{ст}}$ — высота профиля стойки, включая высоту книц, связывающих ее с ПМП и двойным дном.

Если поперечная переборка двойная, то условие $a' \leq h_{\text{ст}}/4$ относится только к верхнему концу стойки.

Значения податливостей нижних палуб, шельфов и флоров должны рассчитываться с учетом сдвига. Их заделка по концам и работа в составе перекрытий могут не учитываться, что приводит к ошибке в безопасную сторону при определении значений усилий T .

Глубину заделки ПМП у их концов следует рассчитывать по схеме (рис. 9).

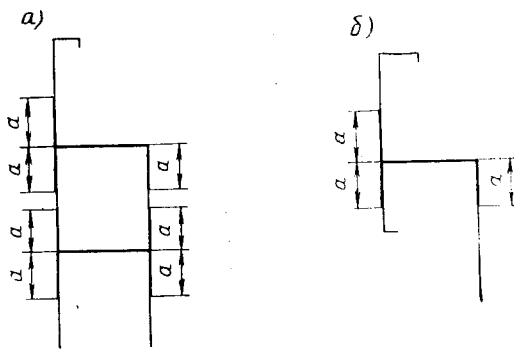


Рис. 6. Присоединенные пояски бортовых балок:
 а) двойной борт; б) одинарный борт

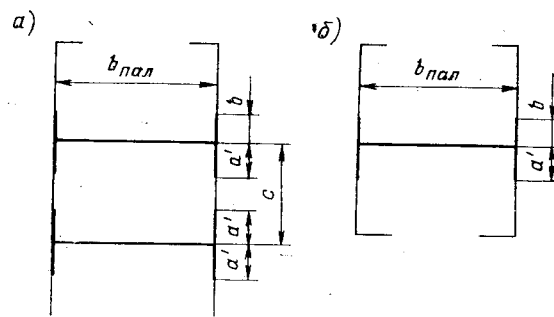


Рис. 7. Присоединенные пояски поперечных пере-
 мычек:
 а) двойная переборка, коробка в верхней части; б) оди-
 нарная переборка

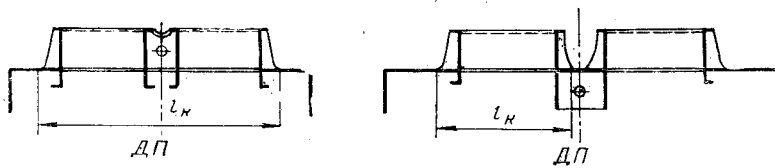


Рис. 8

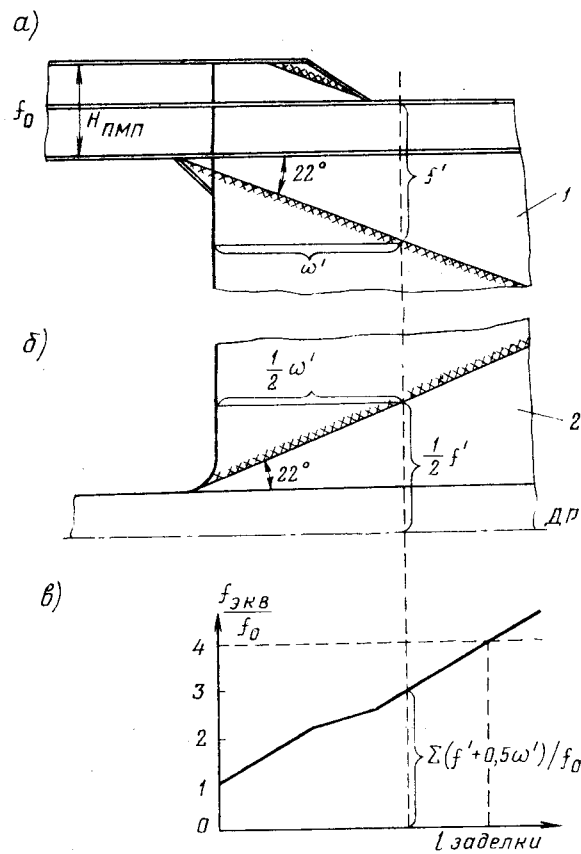


Рис. 9. Схема расчета глубины заделки ПМП в оконечностях:
 1 — продольная переборка; 2 — палуба

Для двух-трех сечений на длине продолжения ПМП в корпус, равной примерно одной, двум и трем высотам ПМП, определяется эквивалентная площадь заделки по формуле $f_{\text{экв}} = f' + 0,5\omega'$, где f' — суммарная площадь непрерывных продольных связей, включаемых под углом 1 : 2,5; ω' — проекция суммарной площади сдвига: $\omega' = lt_{\text{ср}}$. При толщине обшивки переменной по ширине палубы или по высоте продольной переборки ω' вычисляется по средней толщине $t_{\text{ср}}$ независимо от того, по какой толщине проходит сечение. В f' включается и площадь продольного набора.

Глубина заделки определяется зависимостью $f_{\text{экв}}^0 = 4f_0$.

При нелинейном изменении $f_{\text{экв}}(l)$ на рассматриваемом участке глубина заделки увеличивается до тех пор, пока площадь $\int_0^l f_{\text{экв}} dl$

не станет приблизительно равной площади трапеции с основаниями f_0 и $4f_0$.

Если оканчиваются две ПМП, ω' подсчитывается только для одного борта, а f' — только до ДП, включая и половину площади связей в ДП.

Если среднее значение изменения формы изгибающего момента на участке заделки $l_{зад}$ не превышает 5% от максимального, то для упрощения расчетов допускается учитывать глубину заделки редуцированием площади ПМП в концевых трюмах (рис. 10):
 $f_{ред} = fl_{тр} / (l_{тр} + l_{зад})$.

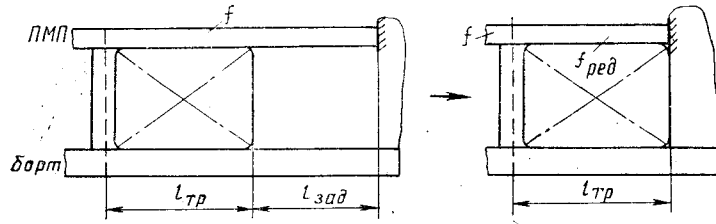


Рис. 10

Приложение 2

ПРИМЕР РАСЧЕТА СТЕПЕНИ УЧАСТИЯ ПМП В ОБЩЕМ ИЗГИБЕ СУДНА

Тип судна: многоцелевое сухогрузное. Главные размерения: $L=145,0$ м; $B=22,8$ м; $D=13,4$ м; $d=9,01$ м; $C_b=0,691$ — коэффициент общей полноты; $v=17,2$ уз — спецификационная скорость.

1. Схема верхней палубы приведена на рис. 1.

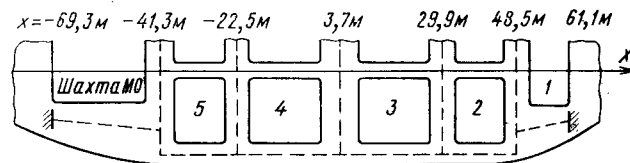


Рис. 1

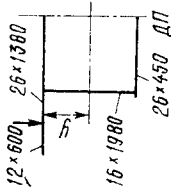
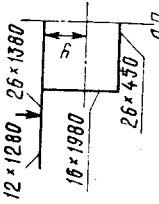
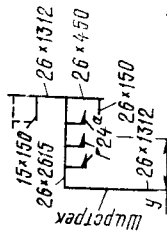
2. Характеристики связей указаны в табл. 1.

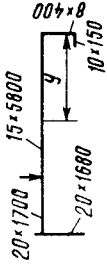
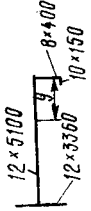
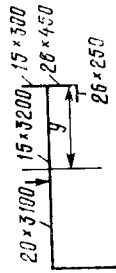
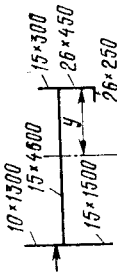
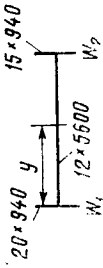
3. Изгибающие моменты. Волновой изгибающий момент согласно 1.5.3.4 ч. II «Корпус» Правил $M_w = 0,115 C_n B L^2 (C_b + 0,7) = 0,115 \cdot 8,82 \times 22,8 \cdot 145^2 \cdot 1,391 = 676339$ кН·м, где $C_n = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{1,5} = 10,75 - 1,55^{1,5} = 8,8203$.

На полусечение корпуса действует, $0,5M_w = 338169$ кН·м.

Таблица 1

№ п/п	Наименование связи	Поперечное сечение	Характеристики						
			$f, \text{ м}^2$	$I, \text{ м}^4$	$W_1, \text{ м}^3$	$W_2, \text{ м}^3$	$y, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	
1	ПМП:								
1.1	при вертикальном изгибе у поперечного комингса		0,0723	0,0484	0,0453	0,0382	0,741	—	
1.2	то же, с продольным комингсом		0,0947	0,0938	0,0618	0,0572	0,367	—	
1.3	при $x = 41,3 \text{ м}$		0,0922	0,0561	—	—	0,587	—	

№ п/п	Наименование связи	Поперечное сечение	Характеристики					
			$f, \text{ м}^2$	$I, \text{ м}^4$	$W_1, \text{ м}^3$	$W_2, \text{ м}^3$	$y, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$
1.4	при $x=22,5 \text{ м}$		0,0846	0,0539	—	—	0,627	—
1.5	при $x=3,7 \text{ м}$		0,0946	0,0569	—	—	0,572	—
2	Бортовая балка:							
2.1	в трюмах № 2, № 3, № 4, № 5 при горизонтальном изгибе		0,1569	0,1880	0,1249	0,1603	1,480	—

2.2 при $x = 44,8$ м		—	1,029	—	4,588	0,121
2.3 при $x = 69,3$ м		—	0,348	—	3,408	0,0612
2.4 при $x = 51,0$ м		—	0,854	—	3,414	0,110
2.5 при $x = 61,1$ м		—	0,421	—	2,538	0,0690
3	ПП между трюмами:	0,1001	0,433	0,147	2,668	0,0843
3.1	№ 1 и № 2					
						

№	П/П	Наименование связи	Поперечное сечение	Характеристики					
				$f, \text{ м}^2$	$I, \text{ м}^4$	$W_1, \text{ м}^3$	$W_2, \text{ м}^3$	$U, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$
3.2	№ 2 и № 3			0,1067	0,376	0,146	0,148	2,212	0,0846
3.3	№ 3 и № 4			0,1408	0,133	0,309	0,309	4,3	0,1417
3.4	№ 4 и № 5			0,1038	0,428	0,164	0,159	2,586	0,0864
3.5	ПП между трюмом № 5 и шахтой МО			—	0,653	0,186	0,200	3,505	0,1012

Изгибающий момент на тихой воде для расчетного случая со 100% запасов является прогибающим, имеет максимум при $x_0 = -14,05$ м (в корму от миделя) и составляет $0,5M_{SW}^{max} = 263536$ кН·м.

Распределение $0,5M_W$ по длине судна показано в табл. 2. настоящего приложения и соответствует форме M_W , смещенной максимально в корму. Параметры трапецидальной формы волнового момента следующие: $a = 20,170$ м и $b = 109,46$ м при $\bar{M} = (C_b + 0,65)/3 = 0,447$; координаты $X_A = -4,415$ м, $X_B = -17,77$ м.

В указанной таблице также даны значения суммы $M(x) = 0,5M_{SW} + 0,5M_W$.

4. Характеристики поперечных полусечений корпуса приведены в табл. 2. Модуль упругости стали принят $E = 2,11 \cdot 10^5$ МПа.

Таблица 2

Номер трюма	x , м	F , м ²	e от ОЛ, м	r , м	I , м ⁴	$0,5M_{SW}$, кН·м	$0,5M_W$, кН·м	$M(x) = 1/2(M_{SW} + M_W)$, кН·м
МО	-69,30	0,6035	6,739	—	8,404	1023	18658	19681
	-55,30	0,6754	6,222	—	15,657	45405	100287	145692
5	-41,30	0,7312	5,800	7,200	20,029	141285	181916	323201
	-31,90	0,7595	5,573	7,427	21,712	206787	236725	443512
4	-22,50	0,7806	5,395	7,605	22,645	250712	291533	542245
	-9,40	0,7979	5,233	7,767	23,113	259229	338179	597407
3	3,70	0,8009	5,198	7,802	23,148	220265	338179	558444
	16,80	0,7899	5,311	7,689	22,940	223838	217885	441
2	29,90	0,7646	5,531	7,469	21,960	206562	76306	282868
	39,20	0,7381	5,746	7,254	20,481	161905	0	161965
1	48,50	0,7045	6,005	6,995	18,095	96609	0	96609
	54,80	0,6777	6,205	—	15,859	53764	0	53764
	61,10	0,6476	6,425	—	13,044	21197	0	21197
4	-14,05	0,7934	5,278	7,722	23,027	263775	338179	601954

5. Расчетные схемы для вычисления $[A_{св}]$ и $[A_{пал}]$.

5.1 Расчет приведенной площади ПМП.

Так как комингсы ПМП обрываются на поперечных комингсах люков, ось балки ПМП изогнута в ДП. На рис. 2 показана ПМП в районе трюмов № 5 и № 4. Указанное относится к ПМП в трюмах № 2 и № 3 соответственно.

Продольная жесткость ПМП и соответственно эквивалентная площадь $1/2$ сечения ПМП определены приложением растягивающей нагрузки P , вызывающей средние напряжения $\sigma = 1$ МПа в самом слабом сечении ПМП. Эквивалентная площадь ПМП составляет соответственно: $f_{эkv} = 0,0819$ м² — для трюмов № 5 и № 2; $f_{эkv} = 0,0841$ м² — для трюмов № 4 и № 3.

Дополнительные напряжения изгиба в палубе ПМП у места окончания комингсов составляют 36,3% средних. Уменьшение

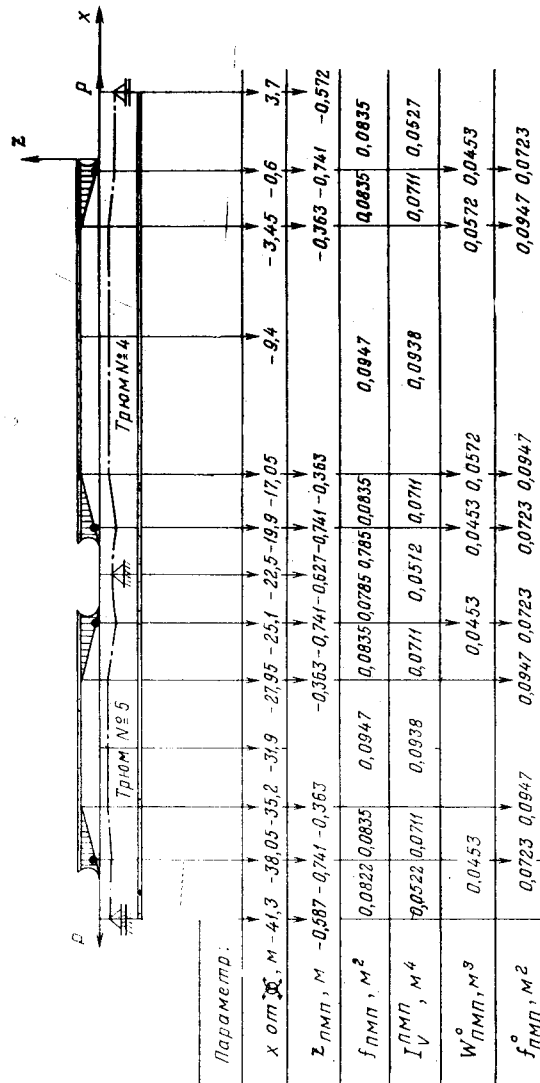


Рис. 2.

Условные обозначения: z ПМП — расстояние нейтральной оси ПМП от верхней палубы, м;
 f ПМП — средняя площадь $\frac{1}{2}$ сечения ПМП по участкам, м²; I ПМП — средний момент инерции
 $\frac{1}{2}$ сечения ПМП по участкам, м⁴; W ПМП и f ПМП — момент сопротивления и площадь сечения
 ПМП соответственно, м³ и м²

Таблица 3

х нейтральной оси ПП, м	-41,3	-22,5	3,7	29,9	48,5
$\omega_F, \text{ м}^2$	0,1012	0,0864	0,1417	0,0846	0,0843
e_i (среднее), м	0,65	0,68	0,65	0,68	0,65
$b_0, \text{ м}$	3,55	8,0	8,0	8,0	4,0
$k_{ii}, \text{ кН} \cdot \text{ м}$	$2,282 \cdot 10^6$	$4,052 \cdot 10^6$	$3,552 \cdot 10^6$	$4,052 \cdot 10^6$	$2,282 \cdot 10^6$
$\Delta A'_i = e_i^2 / k_{ii}, \text{ м} / \text{кН}$	$1,851 \cdot 10^{-7}$	$1,141 \cdot 10^{-7}$	$1,200 \cdot 10^{-7}$	$1,141 \cdot 10^{-7}$	$1,851 \cdot 10^{-7}$
$\Delta A_i + \Delta A'_i = \Delta A''_i$	$3,874 \cdot 10^{-7}$	$3,164 \cdot 10^{-7}$	$3,223 \cdot 10^{-7}$	$3,164 \cdot 10^{-7}$	$3,874 \cdot 10^{-7}$
ψ_ω	0,527	0,783	0,683	0,787	0,602
$\omega_{\text{пр}} = \omega_i \psi_\omega, \text{ м}^2$	0,0533	0,0677	0,0968	0,0666	0,0507

продольной жесткости ПМП за счет ее изгиба составляет 4,4% для всех трюмов. Расчет по той же схеме определены изгибные жесткости ПМП в ДП, равные моментам, приложенным к ПМП в местах пересечения с ПП и вызывающим единичные повороты сечений (табл. 3).

5.2 Расчет приведенной площади сдвига ПП.

В табл. 3 приведены площади сдвига ω ПП с учетом усреднения толщины палуб ПП между люками.

Дополнительная местная податливость закрепления ПП, м/кН,

$$\Delta A_i'' = \frac{1,11}{Et} = \frac{1,11}{2,11 \cdot 10^8 \cdot 0,026} = 2,023 \cdot 10^{-7}.$$

В табл. 3 вычислены приведенные площади ω ПП с учетом местной податливости и податливости изгиба ПМП. Последняя вычисляется по формуле (2) приложения 1, а $\psi_{\omega} = \frac{1}{1 + \Delta A_i (E\omega/2,6b_0)}$.

5.3 Расчетная модель палубы для метода 1 приведена на рис. 3.

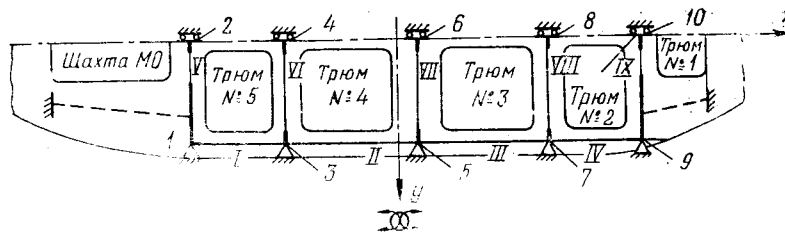


Рис. 3

На схеме арабскими цифрами обозначены узлы, римскими — балки.

Характеристики узлов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номер узла	Координаты		Жесткости		
	x, м	y, м	$K_{x,}$ кН·м ⁻¹	K_y кН·м ⁻¹	$K_{xy,}$ кН·м
1	-41,3	9,920	∞	∞	$2,592 \cdot 10^7$
2	-41,3	0	0	∞	0
3	-22,5	9,920	∞	∞	0
4	-22,5	0	0	∞	∞
5	3,7	9,920	∞	∞	0
6	3,7	0	0	∞	∞
7	29,9	9,920	∞	∞	0
8	29,9	0	0	∞	∞
9	48,5	9,920	∞	∞	$2,288 \cdot 10^7$
10	48,5	0	0	∞	∞

Характеристики балок при изгибе в плоскости палубы приведены в табл. 5.

Таблица 5

Номер балки	Узлы		Длины жестких участков, м		Момент инерции, м ⁴	Площадь сдвига $\omega_{пр}$, м ²
	Начало	Конец	в начале	в конце		
I	1	3	3,0	0	0,188	100
II	3	5	0	0	0,188	100
III	5	7	0	0	0,188	100
IV	7	9	0	2,8	0,188	100
V	1	2	6,37	0	0,653	0,0533
VI	3	4	1,15	0,77	0,428	0,0677
VII	5	6	1,15	0,77	1,334	0,0968
VIII	7	8	1,15	0,77	0,376	0,0666
IX	9	10	5,92	0	0,433	0,0507

Характеристики заделки K_{xy} узлов 1 и 9 определены по схеме (рис. 4). Они равны моментам, вызывающим единичные повороты сечения балки, моделирующей бортовой участок шахты МО и люки трюма № 1 соответственно.

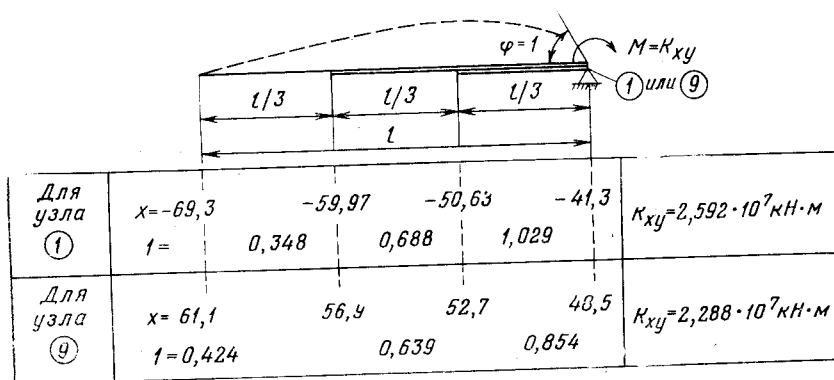


Рис. 4

Матрица жесткости связи ПМП с корпусом в узлах 2, 4, 6, 8 и 10

$$[K_{св}] = \begin{bmatrix} 596526 & & & & & \\ 31137,4 & & & & & \\ -2229,7 & & & & & \\ 101,15 & & & & & \\ -19,054 & & & & & \\ & 342958 & & & & \\ & 12566,1 & 575950 & & & \\ & -570,34 & 12653,2 & 326574 & & \\ & 107,43 & -2383,4 & 31829,7 & 483834 & \end{bmatrix} \text{ симметрично}$$

Таблица 6

Номер узла	Координаты		Жесткости		
	x, м	y, м	$K_x,$ кН·м ⁻¹	$K_y,$ кН·м ⁻¹	$K_{xy},$ кН·м
1	-41,3	9,92	∞	∞	2,592·10 ⁷
2	-41,3	0	0	∞	∞
3	-22,5	9,92	0	∞	0
4	-22,5	0	0	∞	∞
5	3,7	9,92	0	∞	0
6	3,7	0	0	∞	∞
7	29,9	9,92	0	∞	0
8	29,9	0	0	∞	∞
9	48,5	9,92	0	∞	2,288·10 ⁷
10	48,5	0	0	∞	∞

Таблица 7

Номер балки	Узлы		Длины жестких участков, м		Характеристики поперечного сечения		
	Начало	Конец	в начале	в конце	Момент инерции, м ⁴	Площадь сдвига, ω _{пр} , м ²	Площадь сечения, м ²
I	1	3	3,0	0	0,188	100	0
II	3	5	0	0	0,188	100	0
III	5	7	0	0	0,188	100	0
IV	7	9	0	2,8	0,188	100	0
V	1	2	0,37	0	0,653	0,0533	0
VI	3	4	1,15	0,77	0,428	0,0677	0
VII	5	6	1,15	0,77	1,334	0,0968	0
VIII	7	8	1,15	0,77	0,376	0,0666	0
IX	9	10	5,92	0	0,433	0,0507	0
X	2	4	0	0	0	0	0,0819
XI	4	6	0	0	0	0	0,0841
XII	6	8	0	0	0	0	0,0841
XIII	8	10	0	0	0	0	0,0819

Матрица жесткости $[K_{пал}]$ и матрица податливости палубы $[A_{пал}]$ в узлах связи 3, 5, 7 и 9 имеют следующие значения:

$$[K_{пал}] = \begin{bmatrix} 224767 & & & \\ -72855 & 309405 & \text{симметрично} & \\ -25969 & -72749 & 212004 & \\ -22970 & -78897 & -88459 & 212937 \end{bmatrix};$$

$$[A_{пал}] = \begin{bmatrix} 6,01101 & & & \\ 2,85098 & 5,96828 & \text{симметрично} & \\ 2,93463 & 4,17130 & 8,81222 & \\ 2,92389 & 4,25177 & 5,52295 & 8,88138 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

5.5 Расчетная модель палубы для метода 1 по приближенной расчетной схеме.

Полная заделка в ДП за счет симметрии упрощает зависимости (5) — (11) приложения 1, так как $\alpha^*_{22} = \alpha^*_{21} = \alpha^* = \alpha^*_{\text{ПМП}} = 0$.

Можно принять $b_2 = 0$, поскольку при полной заделке длина жесткого участка со стороны заделки не влияет на податливость, и $\Delta A = 0$, так как эта податливость уже учтена редуцированием площадей сдвига ПП в 5.2.

Таким образом, формула (5) приложения 1 примет вид

$$A_{\text{ПП}} = (b_0/EI) [2,6I\omega + b_0^2/3 + m_1 \bar{\alpha}^*_{11} b - m_2 \frac{b_0}{2}],$$

где $m_1 = (b_0/2 + b_1)/(1 + \bar{\alpha}^*_{11})$; $\bar{\alpha}^*_{11} = (EI_{\text{ПП}}/b_0)\alpha^*_{11}$; $m_2 = (b_0/2 + b\bar{\alpha}^*_{11})/(1 + \alpha^*_{11})$.

Для расчета по формуле (5) приложения 1 должны быть определены податливости заделок ПП на бортах α^*_{11} . Так как приближенная схема предназначена для расчета диагональных членов $[A_{\text{св}}]$ при регулярной конструкции палубы, то она не может быть непосредственно применена для рассматриваемого судна.

Поэтому податливости заделок ПП вычисляются для узлов 1, 3, 5, 7 и 9 последовательно слева направо (см. схему, приведенную в 5.3), а потом для тех же узлов 9, 7, 5, 3 и 1 последовательно справа налево. После этого податливость заделки ПП на борту определяется по правилу суммирования жесткостей: $\alpha^*_{1i} = 1/(1/\bar{\alpha}^*_{i1} + 1/\alpha^*_{i1})$, где $\bar{\alpha}^*_{i1}$ и α^*_{i1} — соответственно податливости конструкций, находящихся слева и справа от i -го узла.

Податливость от балки ПП с номером n [согласно формуле (7) приложения 1 после преобразования]

$$\alpha^*_{n1} = \alpha^*_{1n} = \alpha^*_{11} - \alpha^*_{12}^2/\alpha^*_{22} = \alpha^*_{\text{ПП}} \left[1 - \frac{[3(b_0 + b_1)/2b_0 - 1]^2}{1 + 3b_1/b_0 + 3(b_1/b_0)^2} \right],$$

где $\alpha^*_{\text{ПП}} = (b_0/3EI_{\text{ПП}}) (b_0/b)^2$.

Податливости от ПП α^*_{1n} вычислены в табл. 8.

Таблица 8

Номер балки ПП	V	VI	VII	VIII	IX
b_0	3,55	8,00	8,0	8,0	4,0
b_1	6,37	91,15	1,15	1,15	592
$b = b_0 + b_1$	9,92	9,15	9,15	9,15	9,92
$I_{\text{ПП}}$	0,653	0,428	1,334	0,376	0,433
$\alpha^*_{\text{ПП}}$	$1,100 \cdot 10^{-9}$	$2,257 \cdot 10^{-8}$	$7,242 \cdot 10^{-9}$	$2,569 \cdot 10^{-8}$	$2,373 \cdot 10^{-9}$
α^*_{1n}	$4,015 \cdot 10^{-10}$	$1,483 \cdot 10^{-8}$	$4,758 \cdot 10^{-9}$	$1,688 \cdot 10^{-8}$	$9,113 \cdot 10^{-10}$

Податливости узла 1 слева $\bar{\alpha}^*_{11} = 1/2,592 \cdot 10^7 = 0,3858 \cdot 10^{-7}$ 1/кН·м и узла 9 справа $\bar{\alpha}^*_{91} = 1/2,288 \cdot 10^7 = 0,4371 \cdot 10^{-7}$ 1/кН·м определены в табл. 4

При переходе слева направо через узел i влияние поперечной перемычки j учитывается $\vec{\alpha}^{*i} = 1/(1/\vec{\alpha}^{*i} + 1/\alpha^*)$, а при переходе справа налево $\overleftarrow{\alpha}^{*i} = 1/(1/\overleftarrow{\alpha}^{*i} + 1/\alpha^*)$, что эквивалентно суммированию жесткостей балок, соединяющихся в узле. При переходе через бортовую балку K слева направо от узла i к узлу $i+2$ из выражения (9) приложения 1 получается

$$\vec{\alpha}^{*i+2} = \alpha^{*6}_K \left[1 - \frac{1}{4(1 + \vec{\alpha}^{*i}/\alpha^{*6}_K)} \right],$$

а при переходе справа налево от узла $i+2$ к узлу i

$$\overleftarrow{\alpha}^{*i} = \alpha^{*6}_K \left[1 - \frac{1}{4(1 + \overleftarrow{\alpha}^{*i+2}/\alpha^{*6}_K)} \right],$$

где податливость бортовой балки $\alpha^{*6}_K = l_n/(3EI_6)$

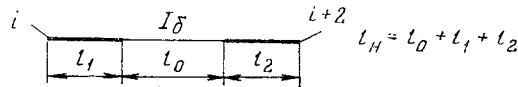


Рис. 5

Когда бортовая балка имеет жесткие участки, как показано на рис. 5 (балки I и IV), податливости $\vec{\alpha}^{*i+2}$ и $\overleftarrow{\alpha}^{*i}$ определяются по формулам, аналогичным формулам (6) и (7) приложения 1, с заменой в них характеристики ПП на характеристики бортовой балки, или

$$\alpha^{*11} = \alpha^{*6} [1 + 3l_2/l_0 + 3(l_2/l_0)^2];$$

$$\alpha^{*22} = \alpha^{*6} [1 + 3l_1/l_0 + 3(l_1/l_0)^2];$$

$$\alpha^{*12} = \alpha^{*21} = \alpha^{*6} \{ 3(l_n - 2l_1)/2l_0 + [3(l_n - l_1)/l_0] (l_1/l_0) - 1 \},$$

где $\alpha^{*6} = (l_0/3EI_6) (l_0/l_n)^2$,

и тогда

$$\vec{\alpha}^{*i+2} = \alpha^{*22} - \alpha^{*12^2} / (\alpha^{*11} + \vec{\alpha}^{*i}); \quad \overleftarrow{\alpha}^{*i} = \alpha^{*11} - \alpha^{*12^2} / (\alpha^{*22} + \overleftarrow{\alpha}^{*i+2}).$$

Последние зависимости можно использовать как более общие и при отсутствии жестких участков.

Далее расчет податливостей заделки бортовых узлов ПП и определение податливости связи ПМП с корпусом через ПП проводятся в табличном виде (табл. 9).

Последовательность вычислений при переходе слева направо и справа налево с вычислением угловых податливостей слева и справа от узлов бортовой балки показаны стрелками, а начало расчета отмечено точками (табл. 10).

Таблица 9

Номер бортовой балки K	I	II	III	IV
$l_n, \text{ м}$	18,8	26,2	26,2	18,6
$l_0, \text{ м}$	15,8	26,2	26,2	15,8
$l_1, \text{ м}$	3	0	0	0
$l_2, \text{ м}$	0	0	0	0
$I_6, \text{ м}^4$	0,188	0,188	0,188	0,188
$\alpha^*_{i6} \cdot 10^8$	9,3776	22,0161	22,0161	9,5804
$\alpha^*_{i11} \cdot 10^8$	9,3776	22,0161	22,0161	15,5764
$\alpha^*_{i22} \cdot 10^8$	15,7336	22,0161	22,0161	9,5804
$\alpha^*_{i12} \cdot 10^8$	7,35967	11,0080	11,0080	7,33689

Таблица 10

Номер узла i	1	3	5	7	9
Номер ПП n	V	VI	VII	VIII	IX
Характеристика ПП из табл. 9					
$\vec{\alpha}_i^* \cdot 10^9$	38,580	99,820	168,17	166,25	64,341
$\overleftarrow{\alpha}_i^* \cdot 10^9$	—	13,616	4,6277	14,446	0,89265
$\alpha^*_n \cdot 10^{10}$	4,015	148,3	47,58	168,8	9,113
$\vec{\alpha}_i^{*n} \cdot 10^9$	0,39738	12,913	4,6275	15,326	—
$\overleftarrow{\alpha}_i^{*n} \cdot 10^9$	62,092	166,25	1168,51	100,10	43,710
Характеристики бортовых балок из табл. 9					
Номер бортовой балки K	I	II	III	IV	
$\alpha^*_{i1} \cdot 10^8$	2,3795	6,2372	8,4170	6,2479	2,6028
α^*_1	0,9235	0,7041	2,9614	0,6196	0,5945
m_1	4,2344	3,0222	1,3000	3,1798	4,9671
m_2	5,6856	6,1278	7,8500	5,9702	4,9529
ω_{npn}	0,0533	0,0667	0,0968	0,0666	0,0507
$A_{ПП} \cdot 10^9$	1,6684	2,9211	1,7335	3,0411	2,0545
Ошибка, %	0,95	0,37	0,33	1,41	1,24

Податливость поперечных перемычек по приближенной методике отличается не более чем на 1,41% (в среднем 0,84%) от диагональных членов матрицы податливости (см. 5.3).

6. Расчет усилий в ПМП.

6.1 По методу 1.

Для матриц $[A_{\text{пер}}]$ и $[A_{\text{кор}}]$ рассчитывается их суммарное значение, так как их структура одинакова (треугольные снизу). Расчет проводится для последней строки матрицы, а потом дополняется до треугольной.

Значение каждого члена последней строки суммарной матрицы

$$A_i + \bar{A}_i = (1/E) \int_{x_i}^{x_{i+1}} [r^2(x)/I(x) + 1/F(x) + 1/f(x)] dx = \\ = [(x_{i+1} - x_i)/6E] [\varphi(x_i) + 4\varphi((x_{i+1} + x_i)/2) + \varphi(x_{i+1})],$$

где $\varphi(x) = r^2/I(x) + 1/F(x) + 1/f(x)$.

Расчет последней строки матрицы $[A_{\text{пер}}] + [A_{\text{кор}}]$ приводится в табл. 11. Расчет проводится для случая связи через ПП IV, VI и VIII с редуцированием площади ПМП в трюмах № 2 и № 5. Если учитывать связь через все ПП, необходимо пропустить ПМП и через шахту МО и трюм № 1 с малой площадью $f < 10^{-6} \text{ м}^2$, а расчет вести на ЭВМ с сохранением 12—16 значащих цифр. Результаты этого расчета также указаны, но промежуточные выкладки не даны.

Компоненты $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}$

$$\Delta \bar{U}_{\text{кор}i} = (1/E) \int_i^{i+1} [M(x)/I(x)] r(x) dx = [(x_{i+1} - x_i)/6E] \{ \varphi(x_i) + \\ + 4\varphi[(x_i + x_{i+1})/2] + \varphi(x_{i+1}) \},$$


где $\varphi(x) = [M(x)/I(x)] \cdot r(x)$, а $\bar{U}_{\text{кор}i} = \sum_1^i \Delta \bar{U}_{\text{кор}i}$.

Из п. 13 табл. 11 формируем треугольную матрицу

$$[A_{\text{пер}}] + [A_{\text{кор}}] = \begin{bmatrix} 3,120 & 0 & 0 & 0 \\ 3,120 & 1,956 & 0 & 0 \\ 3,120 & 1,956 & 1,954 & 0 \\ 3,120 & 1,956 & 1,954 & 3,507 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}$$

и вектор $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}$ (строка 10 табл. 11)

$$\{\bar{U}_{\text{кор}}\} = \begin{bmatrix} 1,344 \\ 3,772 \\ 5,587 \\ 6,120 \end{bmatrix} \cdot 10^{-2}.$$

№ п/п	Тръем № x от 	5 (n=1)					4 (n=2)				3 (n=3)			2 (n=4)		
		i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
1	r(x)	7,200	7,427	7,605	7,767	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802	7,802
2	I(x)	20,029	21,712	23,113	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148	23,148
3	F(x)	0,7312	0,7595	0,7816	0,7979	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019	0,8019
4	$r(x)^2/I(x) + 1/F(x)$	3,956	3,857	3,885	3,864	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878	3,878
5	M(x)	323202	443512	542245	597407	558444	558444	558444	558444	558444	558444	558444	558444	558444	558444	558444
6	M(x)r(x)/I(x)	116200	151700	182100	200800	188200	188200	188200	188200	188200	188200	188200	188200	188200	188200	188200
7	C	1	4	1	4	1	1	1	4	1	4	1	4	1	4	1
8	$\Delta x = (x_{j+1} - x_j) / 6E$	1,485 · 10 ⁻³			2,070 · 10 ⁻⁸				2,070 · 10 ⁻⁸					2,070 · 10 ⁻⁸		1,469 · 10 ⁻⁸
9	$\Delta \bar{U}_{\text{кор}} = \Delta x \sum_{i=1}^3 C_i \cdot (6)$	1,344 · 10 ⁻²			2,428 · 10 ⁻²				2,428 · 10 ⁻²					1,814 · 10 ⁻²		5,332 · 10 ⁻³
10	$U_{n_{\text{кор}}} = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{U}_{\text{кор}}$	1,344 · 10 ⁻²			3,772 · 10 ⁻²				3,772 · 10 ⁻²					5,587 · 10 ⁻²		6,120 · 10 ⁻²
11	f _n	0,0321			0,0841				0,0841					0,0841		0,0279
12	C([4] + 1/f _n)	35,11	140,0	34,99	15,73	63,02	15,77	15,77	62,94	15,74	39,69	159,10	39,97	1,954 · 10 ⁻⁶		3,507 · 10 ⁻⁶
13	A _i + A _i = $\Delta x \sum_{i=1}^3 (12)$	3,120 · 10 ⁻⁶			1,956 · 10 ⁻⁶				1,956 · 10 ⁻⁶					1,954 · 10 ⁻⁶		3,507 · 10 ⁻⁶

Приведенная матрица связи

$$[\bar{A}_{св}] = \begin{bmatrix} 2,9040 & -2,9669 & 0,07023 & -0,007322 \\ -0,06291 & 1,80191 & -1,80523 & 0,06623 \\ 0,007322 & -0,073552 & 3,11143 & -3,0452 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

Матрица податливости

$$[A] = [A_{пер}] + [A_{кор}] + [A_{св}] = \begin{bmatrix} 6,0245 & -2,9669 & 0,07023 & -0,007322 \\ 3,0575 & 3,7578 & -1,8052 & 0,06623 \\ 3,1278 & 1,8824 & 5,0659 & -3,0452 \\ 3,1205 & 1,9559 & 1,9545 & 3,5073 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

После решения системы уравнений $[A]\{T\} = \{U_{кор}\}$ получаем $\{T\}^T = \{6149 \ 8101 \ 6521 \ 3826\}^T$, что соответствует усилиям в ПМП в трюмах № 5, № 4, № 3 и № 2 (кН).

Расчет с использованием матрицы связи, полученной по приближенной расчетной схеме (см. табл. 10),

$$[A_{св}] = \begin{bmatrix} 2,9211 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,7335 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,0411 & -3,0411 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6},$$

а редуцированная площадь ПМП в трюмах № 5 и № 2 соответственно $f_{1экв} = 0,0323 \text{ м}^2$ и $f_{4экв} = 0,0282 \text{ м}^2$ по формуле $f_{экв} = f/[1 + E(A_{пп}/l_{тр})f]$ с использованием податливостей ПП машинной шахты $A_{пп} = 1,6684 \cdot 10^{-6}$ и трюма № 1 $A_{пп} = 2,0545 \cdot 10^{-6}$ (также из табл. 10). При этом последняя строка $[A_{пер}] + [A_{кор}]$ получается $[3,1033 \ 1,9560 \ 1,9545 \ 3,4737] \cdot 10^{-6}$, а приведенная матрица связи

$$[A_{св}] = \begin{bmatrix} 2,9211 & -2,9211 & 0 & 0 \\ 0 & 1,7335 & -1,7335 & 0 \\ 0 & 0 & 3,0411 & -3,0411 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

Полученные усилия в ПМП $\{T\}^T = \{6164 \ 8110 \ 6534 \ 3868\}^T$ лишь незначительно отличаются (не более 1,1%) от усилий, полученных с использованием укороченной матрицы $[A_{св}]$, и не более чем на 2,4% от усилий, полученных на базе полной матрицы $[A_{св}]$. Эти усилия, расчет которых проводился на ЭВМ, равны в трюмах № 5, № 4, № 3 и № 2 $\{T\}^T = \{6151 \ 8282 \ 6696 \ 3889\}^T$. Видно, что усилия больше, чем усилия, вычисленные с $[A_{св}]$ по приближенной методике.

6.2 По методу 2.

Расчет матрицы $[A_{\text{кор}}]$ и $\{U_{\text{кор}}\}$ приводится в табл. 12. Значения членов последней строки матрицы $[A_{\text{кор}}]$

$$\bar{A}_i = (1/E) \int_{x_i}^{x_{i+1}} [r^2(x)/I(x) + 1/F(x)] dx = [(x_{i+1} - x_i)]/6E [\varphi(x_i) + 4\varphi(x_i + x_{i+1})/2 + \varphi(x_{i+1})],$$

где $\varphi(x) = r^2(x)/I(x) + 1/F(x)$.

Формула для определения членов $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}$ та же, что и в 6.1. Матрица податливости корпуса (из строки 11 табл. 12):

$$[A_{\text{кор}}] = \begin{bmatrix} 3,4479 & 0 & 0 & 0 \\ 3,4479 & 4,7947 & 0 & 0 \\ 3,4479 & 4,7947 & 4,7803 & 0 \\ 3,4479 & 4,7947 & 4,7803 & 3,4773 \end{bmatrix} \cdot 10^{-7},$$

а матрица податливости

$$[A] = [\bar{A}_{\text{пал}}] + [A_{\text{кор}}] = [\{0\}[A_{\text{пал}}]] - [[A_{\text{пал}}]\{0\}] + [A_{\text{кор}}];$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 6,35581 & -3,16004 & 0,08365 & -0,2010735 \\ 3,19577 & 3,59678 & -1,79698 & 0,080468 \\ 3,27942 & 1,71615 & 5,11895 & -3,28927 \\ 3,26869 & 1,80735 & 1,74921 & 3,70716 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

Правая часть $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}$ (из строки 10 табл. 12): $\{\bar{U}_{\text{кор}}\}^T = \{1,344 \quad 3,772 \quad 5,587 \quad 6,120\}^T \cdot 10^{-2}$.

После решения системы уравнений относительно $\{T\}$: $[A]\{T\} = \{U_{\text{кор}}\}$ получим, что усилия в ПМП в трюмах с № 5 по № 2 $\{T\}^T = \{6151 \quad 8282 \quad 6696 \quad 3889\}^T$ и совпадают с усилиями по методу 1, полученными на базе полной расчетной схемы палубы.

6.3 Расчет по приближенной методике.

При жестких ПП максимальное усилие в трюме № 4 в соответствии с формулой (2-10)

$$T_{\text{max}} = \frac{(1/E) \int_{l_{\text{тр}}} [M(x)r(x)/I(x)] dx}{(1/E) \int_{l_{\text{тр}}} [dx r^2/I(x) + 1/F(x) + 1/f(x)] dx} = \frac{2,428 \cdot 10^{-2}}{1,956 \cdot 10^{-6}} = 12410 \text{ кН},$$

где числитель и знаменатель — значения $\Delta U_{\text{кор}i}$ из табл. 11, а второй член из последней строки $[A_{\text{пер}}] + [A_{\text{кор}}]$ — из 6.1 по приближенной методике.

При мягких ПП (за исключением перемычек шахты МО и трюма № 1) в соответствии с формулой (2-14) усилие

$$I_{\text{ср}} = \frac{(1/E) \sum_1^4 \int_{l_{\text{тр}}} [M(x)r(x)/I(x)] dx}{(1/E) \sum_1^4 \int_{l_{\text{тр}}} [r^2(x)/I(x) + 1/F(x) + 1/f(x)] dx} = \frac{6,120 \cdot 10^{-2}}{1,0487 \cdot 10^{-5}} = 5836 \text{ кН.}$$

Податливость ПМП без учета податливости заделки

$$A_{\text{ПМП}} = \frac{\sum l_n}{E f_{\text{ср}}} = \frac{89,8}{2,11 \cdot 10^8 \cdot 0,08317} = 5,117 \cdot 10^{-6},$$

$$\text{где } f_{\text{ср}} = l_n / \left(\sum_1^n l_{\text{тр}} / f_n \right) = \frac{89,8}{\frac{18,8+18,6}{0,0819} + \frac{2 \cdot 26,2}{0,0841}} = 0,08317 \text{ м}^2.$$

Средняя податливость ПП между трюмами № 4 и № 5 (см. табл. 10)

$$A_{\text{ПП,ср}} = \frac{2}{1/A_{\text{ПП}}^{\text{VI}} + 1/A_{\text{ПП}}^{\text{VII}}} = \frac{2}{1/2,9211 \cdot 10^{-6} + 1/1,7335 \cdot 10^{-6}} = 2,1758 \cdot 10^{-6},$$

а относительная податливость

$$\bar{A} = \frac{A_{\text{ПП}}}{A_{\text{ПМП}}} = \frac{2,1758 \cdot 10^{-6}}{5,117 \cdot 10^{-6}} = 0,4252;$$

$$\kappa = 1/(1 + C\bar{A}) = 1/(1 + 6 \cdot 0,4252) = 0,2816,$$

где $C=6$ при четырех трюмах вдоль ПМП.

Усилие в ПМП в трюме № 4 $T = T_{\text{max}}\kappa + T_{\text{ср}}(1-\kappa) = 12410 \times 0,2816 + 5836 \cdot (1-0,2816) = 7687$ кН, что на 7,2% меньше определенного по Методике методами 1 и 2.

Результат вполне удовлетворителен, имея в виду, что условия использования Методики (регулярная конструкция палубы и равномерная загрузка судна вдоль трюмной части) не соблюдаются.

7. Расчет редуцированных коэффициентов.

Редуцированный коэффициент ψ включения площади ПМП в эквивалентный брус в расчетном сечении с максимальным изгибающим моментом ($x = -14,05$ м от миделя)

$$\psi = \frac{0,95T/f}{(M - T_r)r/I - T/F},$$

где T — расчетное усилие для ПМП в трюме № 4, кН; $f = 0,0841$ м² — расчетная площадь ПМП в трюме № 4; $M = 601954$ кН·м — расчетное значение изгибающего момента; $r = 7,722$ м — расстояние от нейтральной оси корпуса в расчетном сечении до нейтральной оси расчетной ПМП, проходящей по прямой линии между нейтральными осями ПМП у ПП трюма № 4 (см. рис. 2); $I = 23,027$ м⁴ и $F = 0,7934$ м² — соответственно момент инерции и площадь сечения корпуса без ПМП.

Вычисляемая величина	Формула или обозначение	Значение
Редукционный коэффициент	$\psi = 0,90\bar{m} / [1 + (1 - \bar{m}) (f/F_0 + r_0^2 f/I_0)]$	$\frac{0,90 \cdot 0,539}{1 + (1 - 0,539)0,281} = 0,429$
Среднее значение коэффициента полноты формы изгибающего момента	$\bar{M} = (0,65 + C_b) / 3$	$\frac{0,691}{145} = 0,447$
Коэффициент общей полноты	C_b	0,691
Приведенное к длине ПМП среднее значение коэффициента полноты формы изгибающего момента	$\bar{m} = \bar{M}L / (I_n + \Delta I_1 + \Delta I_2)$	$\frac{0,447 \cdot 83,88 + 16,16 + 20,23}{83,88} = 0,539$
Длина ПМП вдоль открытой части палубы	I_n	83,88 м
Эквивалентная глубина заделки ПМП в кормовой ПП	$\Delta I_1 = \Delta I'' = 1,3nb'f/\omega + \Delta I'''$	$\frac{1446}{1012} + 9,56 = 16,16$ м
Число ПМП по ширине палубы	n	1
Расстояние от ДП до линии шахты МО	b'	3,55 м
Площадь сечения непрерывных связей ПМП	f	1446 см ²
Усредненная площадь палубы ПП	ω	1012 см ²
Ширина палубы кормовой ПП	b''	6,75 м
Глубина заделки ПП в палубе	$\Delta I''' = fn / (9td)$	$\frac{1446 \cdot 1}{9 \cdot 16,8} = 9,56$ м
Средняя толщина палубы у конца кормовой ПП	td	16,8 м
Эквивалентная глубина заделки ПМП в носовой ПП	$\Delta I_2 = \Delta I'' = 1,3nb'f/\omega + \Delta I'''$	$\frac{1446}{1,3 \cdot 1,4 \cdot 843} + 11,31 = 20,23$ м
Усредненная площадь палубы ПП	ω	843 см ²
Ширина палубы ПП	b''	5,6 м
Глубина заделки ПП	$\Delta I''' = fn / (9td)$	$\frac{1446 \cdot 1}{9 \cdot 14,2} = 11,31$ м
Площадь сечения корпуса без ПМП на миделе	F_0	16020 см ²
Момент инерции корпуса на миделе	I_0	463000 см ² · м ²
Отстояние от нейтральной оси корпуса до нейтральной оси ПМП	r_0	7,81 м

Для рассмотренных в разд. 6 расчетных схем усилия в ПМП и редуционные коэффициенты ψ равны:

$\psi=0,550$ — для полных расчетных схем методов 1 и 2 ($T=8282$ кН);

$\psi=0,536$ — для укороченной матрицы связи метода 1 ($T=8101$ кН);

$\psi=0,537$ — для метода 1 при матрице связи, полученной по приближенной схеме ($T=8110$ кН);

$\psi=0,504$ — для усилия, полученного на базе приближенной методики определения как податливостей ПП, так и самого усилия ($T=7687$ кН);

$\psi=0,367$ — при мягких ПП ($T=T_{\text{ср}}=5836$ кН);

$\psi=0,910$ — при жестких ПП ($T=T_{\text{max}}=12\,410$ кН).

Последние два значения для ψ дают его граничные значения, которые можно получить изменением жесткости ПП между трюмами № 2 и № 5 от нуля до бесконечности.

Коэффициент редукиции собственного момента инерции ПМП для трюма № 4 $\psi=0,7$. Так как комингсы ПМП прерываются, редуцируется минимальное его значение.

Расчет редуционного коэффициента ψ согласно требованиям разд. 1 ч. II «Корпус» должен дать значение для ψ , близкое к полученному выше для мягких ПП. Этот расчет имеет только иллюстративный характер, так как площадь среза концевых ПП меньше площади ПМП и комингсы ПМП обрываются на ПП, что приводит к необходимости выполнения расчета хотя бы по приближенной методике. Расчет проводится для сечения, в котором $M(x)$ имеет максимум, с включением в сечение ПМП только непрерывных связей, т. е. минимальной площади ПМП (см. табл. 1, строка 1.1). Все остальные расчеты проводятся для полного сечения корпуса по табл. 13.

Полученный редуционный коэффициент относится к площади ПМП равной 1446 см², а ψ для мягких ПП — к расчетной площади одной ПМП равной 1682 см². Корректируя значение ψ по разд. 1 ч. II «Корпус» с учетом площади по Методике, получаем $\psi_{\text{пр}}=\psi$ (по правилам) $\cdot \frac{1446}{1682}=0,429 \frac{1446}{1682}=0,369$, что почти совпадает с нижней границей значения редуционного коэффициента.

**НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ¹**

**Отменено в связи
с потерей актуальности**

Нормативно-методические указания регламентируют основные положения по определению технического состояния корпусов морских судов, находящихся под техническим надзором Регистра СССР, и являются дополнением к 3.6 разд. 3 «Корпус» Руководства по техническому надзору за судами в эксплуатации².

¹ В дальнейшем — Нормативно-методические указания.

² В дальнейшем — Регистр, Руководство.

Нормативно-методические указания предназначены главным образом для использования в качестве руководящего документа при разработке или корректировке ведомственных методик дефектации и оценки технического состояния корпусов морских судов.

Нормативно-методические указания могут также использоваться при оценке прочности изношенного корпуса любого конкретного судна, если в этом возникает необходимость при пользовании 3.6 Руководства, специальных норм допускаемых износов и деформаций серийного судна или иных подобных документов.

Техническая документация, предназначенная для определения технического состояния корпусов судов, должна быть построена по следующей схеме.

1. **Нормативно-методические указания** по определению технического состояния корпусов морских судов, выпускаемые Регистром, в которых устанавливаются основные принципы и положения оценки технического состояния корпусов, приводятся основные нормативы на допускаемые дефекты и методические указания по определению параметров технического состояния.

2. **Методики дефектации**, выпускаемые ведомственными научно-исследовательскими институтами (НИИ) и разрабатываемые на базе положений Нормативно-методических указаний. Эти методики предназначены для применения в условиях парокондуктов и судоремонтных предприятий при определении необходимого объема ремонта и при разработке специальных норм.

3. **Методики разработки специальных норм** допускаемых дефектов, разрабатываемые ведомственными НИИ на основе положений Нормативно-методических указаний, методик расчета прочности, правил и норм прочности Регистра, ведомственных методик дефектации, служат пособием при разработке специальных норм для серии судов (отдельного судна).

4. **Специальные нормы допускаемых дефектов**, разрабатываемые компетентными организациями (ЦПКБ, ЦПКТБ, ЦКБ, НИИ и т. п.) по поручению судовладельца на основе ведомственных методик дефектации и разработки специальных норм. Специальные нормы предназначены для использования на судоремонтных предприятиях и в парокондуктах при технической диагностике корпусов судов и определении необходимого объема ремонта.

1. Общие положения

1.1 Область распространения

1.1.1 Положения Нормативно-методических указаний распространяются на суда, указанные в ч. II «Корпус». Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР*.

Если в Нормативно-методических указаниях нет особых требований к буксирам, рыболовным и промысловым судам, должны приниматься нормативы для сухогрузных судов.

* В дальнейшем — Правила.

1.1.2 По согласованию с Регистром и при представлении необходимых обоснований допускаются отступления от регламентируемых Нормативно-методическими указаниями количественных характеристик допускаемых дефектов.

1.1.3 Нормативы допускаемых дефектов корпусных конструкций, указанные в Нормативно-методических указаниях, установлены исходя из условий обеспечения безопасной эксплуатации судна в течение 4 лет (между очередными освидетельствованиями в соответствии с требованиями ч. I «Классификация» Правил).

1.2 Определения и пояснения

1.2.1 Техническое состояние корпуса судна (корпусных конструкций) — совокупность параметров, определяющих прочность, жесткость и непроницаемость корпуса (корпусных конструкций), подверженных изменению в процессе эксплуатации.

Техническое состояние корпусов судов устанавливается в зависимости от степени износа их основных связей, от характеристик остаточных деформаций и других дефектов.

Для корпуса судна Регистром установлены следующие виды технического состояния:

.1 *годен* — для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого удовлетворяют требованиям нормативной документации;

.2 *ограниченно годен* — для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого удовлетворяют требованиям нормативной документации только для ограниченных (по сравнению с первоначально установленными) условий эксплуатации, регламентируемых Регистром;

.3 *не годен* — для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого не удовлетворяют требованиям нормативной документации.

1.2.2 Дефект — каждое появившееся в процессе эксплуатации несоответствие характеристик корпусной конструкции требованиям нормативной документации.

.1 По характеру изменения во времени дефекты подразделяются на прогрессирующие, характеристики которых увеличиваются (возрастают), и непрогрессирующие, характеристики которых не изменяются (не возрастают) в процессе эксплуатации.

.2 По характеру влияния на возможность дальнейшей эксплуатации корпуса дефекты подразделяются на разрушения, т. е. дефекты, исключающие возможность дальнейшей эксплуатации конструкций и подлежащие устранению, и повреждения, т. е. нарушающие нормальные условия эксплуатации конструкций дефекты, допускаемые количественные характеристики которых регламентируются Нормативно-методическими указаниями.

.3 К повреждениям относятся:

.3.1 *износ* — уменьшение первоначальных (построечных) размеров элементов корпуса в процессе эксплуатации. По характеру распространения износ подразделяется на общий (уменьше-

ние толщин элементов судового корпуса по всей его поверхности, характерное для данной связи) и местный (локальное уменьшение толщин элементов судового корпуса на отдельных участках его поверхности);

3.2 остаточные деформации — изменение первоначальной формы конструкций; подразделяются на вмятины (остаточные прогибы листов обшивки или настила совместно с подкрепляющим набором), гофрировку (то же, между несколькими смежными балками набора) и бухтины (остаточные прогибы ограниченного участка листа обшивки или настила между двумя смежными балками набора). К бухтинам также относятся остаточные деформации, образующиеся в стенках флоров и рамного набора бортов, палуб и переборок;

3.3 трещины, разрывы — нарушение целостности элементов корпуса.

1.2.3 Средства измерения — технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

2. Нормативы допускаемых дефектов

2.1 Основные положения

2.1.1 Количественные характеристики допускаемых дефектов устанавливаются по отношению к размерам и характеристикам элементов корпуса судна, требуемым Правилами.

Для корпуса судна, построенного по правилам иностранного классификационного общества, по согласованию с Регистром указанные характеристики допускается определять по отношению к размерам, требуемым этими правилами.

Если построечные размеры связей не удовлетворяют требованиям Правил, допускаемые характеристики дефектов этих связей по согласованию с Регистром могут быть определены относительно размеров, указанных на одобренных классификационным обществом построечных чертежах.

Если в Правилах отсутствуют требования к конструкциям, примененным на данном судне, требования к ним устанавливаются по согласованию с Регистром.

2.1.2 Нормативы допускаемых дефектов устанавливаются в зависимости от ответственности связей и их конструктивного типа.

Соответственно этому назначение нормативов выполняется отдельно для связей корпуса в средней части длины судна* и за ее пределами, для обшивки, настилов, рамного и прочего набора.

2.1.3 Основными характеристиками для оценки прочности конструкций по условиям износа являются:

1 остаточные момент сопротивления поперечного сечения корпуса (палубы, днища) или площадь поперечного сечения продольных связей расчетной палубы в средней части длины судна (если она регламентируется Правилами);

* Средняя часть длины судна — часть длины судна по $0,2L$ в нос и корму от миделя, если в Правилах нет особых указаний.

.2 остаточные площади поперечного сечения обшивки борта и продольных переборок на один борт;

.3 средняя остаточная толщина отдельного элемента корпуса;

.4 минимальная остаточная толщина отдельного элемента в районе местного износа;

.5 остаточный момент сопротивления отдельной балки набора и площадь поперечного сечения стенки балки там, где она регламентируется Правилами.

2.1.4 Основными характеристиками для оценки прочности конструкций по условиям остаточных деформаций являются:

.1 для вмятины — остаточная стрелка прогиба балки набора, характеристики искривления балки набора во вмятине, размеры вмятины в плане;

.2 для гофрировки — остаточная стрелка прогиба гофрировки и ее распространенность по поверхности обшивки настила;

.3 для бухтины — остаточная стрелка прогиба бухтины и ее протяженность между балками набора.

2.1.5 Если строительные толщины (моменты сопротивления поперечного сечения связей) корпуса судна устанавливались уменьшенными по сравнению с требуемыми Правилами в связи с наличием антикоррозионной защиты и заданного ограниченного срока службы, то количественные характеристики допускаемого износа должны определяться по отношению к толщинам (моментам сопротивления), определенным по Правилам без учета защиты и принятого срока службы.

2.1.6 Для прогрессирующих дефектов дополнительной характеристикой является скорость изменения дефекта или допустимый срок эксплуатации конструкции.

2.2 Допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения корпуса и допускаемая остаточная площадь продольных связей расчетной палубы

2.2.1 Допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения корпуса для палубы (днища) определяется по формуле

$$[W_{\text{пал(дн)}}] = kW_{d(b)}, \quad (2.2.1)$$

где k — безразмерный коэффициент; $W_{d(b)}$ — момент сопротивления палубы (для нижней кромки палубного стрингера) или днища (для верхней кромки горизонтального киля), требуемый Правилами.

2.2.2 Коэффициент k определяется по рис. 2.2.2, в зависимости от длины и назначения судна.

Указанные на рис. 2.2.2 коэффициенты k приведены для однопалубных судов, имеющих отношение L/D , равное 12 для сухогрузных и 14 — для наливных, и отношение b/B (т. е. ширины люкового выреза к ширине судна) 0,5 для сухогрузных судов.

В ведомственных методиках, исходя из принципов, заложенных в соответствующих главах ч. II «Корпус» Правил, должны быть приведены указания по уточненному определению коэффициента k

в формуле (2.2.1) для судов, имеющих иные значения отношения L/D и b/B , большее число палуб и другие конструктивные особенности.

2.2.3 Для промысловых судов значение коэффициента k в формуле (2.2.1) принимается как для сухогрузного или как для наливного судна в зависимости, от каких требований для данного судна был назначен момент сопротивления $W_{d(b)}$.

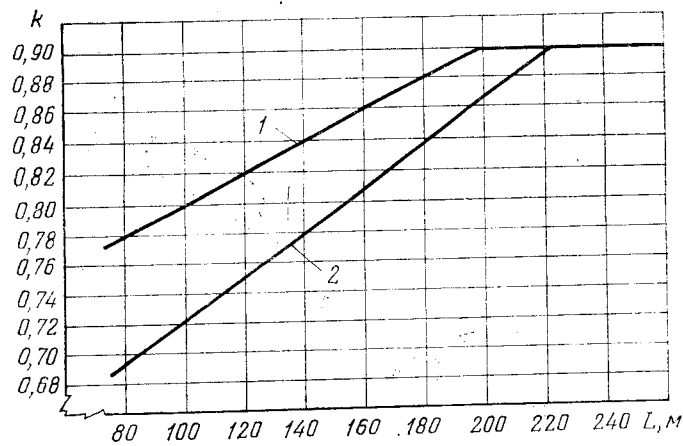


Рис. 2.2.2.

Коэффициент k : 1 — сухогрузные суда; 2 — наливные суда

2.2.4 Допускаемая остаточная площадь поперечного сечения продольных связей расчетной палубы $[F_{\text{пал}}]$ в средней части длины судна там, где это требуется Правилами, определяется по выражению

$$[F_{\text{пал}}] = kF_d, \quad (2.2.4)$$

где k — безразмерный коэффициент, определенный по 2.2.2; F_d — площадь поперечного сечения продольных связей палубы, требуемая Правилами для нового судна.

$[F_{\text{пал}}]$ определяется только, если Правилами регламентируется величина F_d .

2.3 Допускаемые остаточные характеристики поперечного сечения связей корпуса судна

2.3.1 Допускаемая остаточная площадь поперечного сечения обшивки борта и продольных переборок определяется по выражению

$$[A_s] = kA_s, \quad (2.3.1)$$

где k — коэффициент, определяемый согласно 2.2.2; A_s — требуемые Правилами (на один борт) площадь поперечного сечения обшивки борта и площадь продольных переборок, если они имеются.

2.4 Допускаемые остаточные характеристики отдельных конструкций (элементов) корпуса

2.4.1 Допускаемая средняя остаточная толщина отдельного листа обшивки, настила, стенки и пояска балки $[s_1]$ по условиям общего износа определяется по формуле

$$[s_1] = \alpha_1 s_0, \quad (2.4.1)$$

где α_1 — безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 2.4.1; s_0 — строительная толщина, требуемая Правилами.

Дополнительные указания об установлении допускаемых остаточных толщин элементов набора приведены в 3.4.3.3.

Таблица 2.4.1

№ п/п	Наименование связей	α_1	α_3
1	Обшивка и настилы		
1.1	Палубный стрингер и настил расчетной палубы, ширстрек, обшивка днища, горизонтальный киль, скуловой лист, верхний и нижний пояса продольных переборок:		
	в средней части	0,65—0,70	0,55—0,60
	вне средней части	0,60	0,50—0,55
1.2	Настил второй палубы на судах с тремя палубами и более, настил второго дна, обшивка борта (внешнего и внутреннего), обшивка продольных переборок:		
	в средней части	0,60—0,65	0,55—0,60
	вне средней части	0,60	0,50—0,55
1.3	Настилы второй палубы на двухпалубных судах и других нижележащих палуб на судах с тремя палубами и более, платформ, обшивка поперечных переборок	0,60	0,50
2	Рамный набор		
2.1	Продольные рамные связи расчетной палубы и днища:		
	в средней части	0,70—0,75	0,60
	вне средней части	0,65—0,70	0,55—0,60
2.2	Рамные балки поперечного набора, шельфы, рамные стойки переборок, бортовые стрингеры	0,75	0,60
3	Прочий набор		
3.1	Продольные балки палубы, днища, борта, настила второго дна, продольных переборок:		
	в средней части	0,65—0,70	0,60
	вне средней части	0,60—0,65	0,55
3.2	Поперечный набор палубы, днища, борта	0,70	0,60

№ п/п	Наименование связей	α_1	α_3
4	Другие элементы корпусных конструкций, обеспечивающие местную прочность и непроницаемость: листовые элементы набор	0,55 0,60	0,60 0,50

Примечания: 1. Указанные в таблице значения безразмерных коэффициентов α_1 и α_3 применяются для судов, длина которых $L \geq 80$ м.

2. Для судов, длина которых $L \leq 40$ м, значения α_1 и α_3 принимаются по всей длине судна одинаковыми и равными значениям, указанным для α_1 и α_3 вне пределов средней части.

3. У судов промежуточных длин $80 \text{ м} > L > 40 \text{ м}$ значения α_1 и α_3 определяются линейной интерполяцией между их значениями для средней части и вне ее.

4. Допускаемые остаточные толщины в районе изменения нормативных значений α_1 и α_3 должны уменьшаться постепенно по длине судна.

2.4.2 Допускаемая остаточная толщина связей корпуса по условиям местного износа определяется по формуле

$$[s_3] = \alpha_3 s_0, \quad (2.4.2)$$

где α_3 — безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 2.4.1.

В ведомственных методиках допускается при наличии обоснований применять другие, уточненные способы определения допускаемого значения $[s_3]$.

2.4.3 Выбор коэффициентов α_1 и α_3 при указанных в табл. 2.4.1 диапазонах значений определяется особенностями эксплуатации связи и назначением судна.

2.4.4 Допускаемый остаточный момент сопротивления балки набора $[W_n]$ определяется по формуле

$$[W_n] = k_n W_{н.о}, \quad (2.4.4)$$

где k_n — безразмерный коэффициент, принимаемый равным: 0,70 — для балок набора, подверженных действию поперечной нагрузки, вызывающей изгиб балки; 0,75 — для балок набора, подверженных действию продольной сжимающей и одновременно поперечной нагрузок; $W_{н.о}$ — момент сопротивления балки, регламентированный Правилами.

2.4.5 Допускаемая остаточная площадь поперечного сечения стенки рамной балки $[S_f]$ (за вычетом вырезов) должна быть не менее

$$[S_f] = k_n S_{f_0}, \quad (2.4.5)$$

где S_{f_0} — площадь поперечного сечения стенки рамной балки, требуемая Правилами.

2.4.6 Допускаемая средняя остаточная толщина по условиям общего износа и допускаемая остаточная толщина по условиям местного износа связей корпуса, а также допускаемый остаточный момент сопротивления балок набора для конструкций, усиливаемых по требованиям Правил из-за особенностей эксплуатации (ледовых условий, слеминга, швартовки в море и т. п.), устанавливаются равными:

.1 для обшивки ледового пояса

$$\left. \begin{aligned} [s_1] &= n_1(s_0 - c); \\ [s_3] &= n_2(s_0 - c), \end{aligned} \right\} \quad (2.4.6-1)$$

где c — 3 мм для судов с ледовыми усилиями категорий УЛА, УЛ, Л1 и 2 мм — категорий Л2 и Л3.

Значения коэффициентов n_1 и n_2 в зависимости от района ледовых усилений принимаются по табл. 2.4.6-1.

Таблица 2.4.6-1

Район ледовых усилений	n_1	n_2
Носовой	0,9	0,78
Средний	0,85	0,74
Кормовой	0,875	0,75

.2 для набора в районе ледовых усилений

$$[W_n] = 0,8W_{н.о.} \quad (2.4.6-2)$$

где $W_{н.о.}$ — см. 2.4.4;

.3 для обшивки борта в местах швартовки

$$\left. \begin{aligned} [s_1] &= n_3(s_0 - c); \\ [s_3] &= n_4(s_0 - c), \end{aligned} \right\} \quad (2.4.6-3)$$

где $n_3=0,86$; $n_4=0,74$; c — 3 мм при использовании данного борта для траления и 2 мм — в остальных случаях.

Допускаемое значение момента сопротивления набора определяется по формуле (2.4.6-2);

.4 для обшивки в районах слеминга и т. п.

$$\left. \begin{aligned} [s_1] &= 0,75s_0; \\ [s_3] &= 0,65s_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.4.6-4)$$

В ведомственных методиках могут быть (по согласованию с Регистром) применены иные, надлежащим образом обоснованные значения допускаемых остаточных характеристик в зависимости от типа и конструкции судна, а также связанных с этим характера и условий его эксплуатации.

2.4.7 Определенные в соответствии с настоящим разделом допускаемые средние остаточные толщины должны быть не менее 0,60, а наименьшие — не менее 0,50 минимальных строительных толщин, требуемых Правилами.

В непроницаемых конструкциях наименьшая остаточная толщина в отдельных наиболее глубоких язвинах может дополнительно ограничиваться ведомственными методиками в зависимости от назначения судна, особенностей его эксплуатации и условий работы данной конструкции.

2.5 Допускаемые остаточные деформации

2.5.1 Вмятины.

.1 Допускаемые значения остаточных стрелок прогиба балок набора в районе вмятины $[f/l]$ определяются по табл. 2.5.1-1.

Таблица 2.5.1-1

$l/2h$	$[f/l]$	$l/2h$	$[f/l]$
2	0,016	8	0,070
2,5	0,022	10	0,080
3	0,028	12	0,088
4	0,038	15	0,097
5	0,047	20	0,106
6	0,055	25	0,112

Примечания: 1. l — протяженность вмятины вдоль деформированной балки; h — высота стенки балки; $[f]$ — допускаемая стрелка прогиба.

2. Допускаемые значения стрелок прогиба приведены для балок, изготовленных из стали с пределом текучести $R_{eH}=235$ Н/мм² [$R_{eH}=2400$ кгс/см²].

Для балок набора из стали с пределом текучести $R_{eH} \geq 390$ Н/мм² [$R_{eH} \geq 4000$ кгс/см²] табличные значения должны быть уменьшены умножением на коэффициент 0,84. Для сталей с пределами текучести 235 Н/мм² $< R_{eH} < 390$ Н/мм² [2400 кгс/см² $< R_{eH} < 4000$ кгс/см²] коэффициенты уменьшения определяются линейной интерполяцией.

.2 Допускаемые значения характеристик искривления балки набора во вмятине определяются по следующим напряжениям:

при $R_{eH} = 235$ Н/мм² [$R_{eH} = 2400$ кгс/см²]

$$\left. \begin{aligned} [f_{300}] &= 560/h; \\ [f/c] &= 0,07; \\ [d/h] &= 0,07; \end{aligned} \right\} \quad (2.5.1-1)$$

при $R_{eH} = 390$ Н/мм² [$R_{eH} = 4000$ кгс/см²]

$$\left. \begin{aligned} [f_{300}] &= 480/h; \\ [f/c] &= 0,06; \\ [d/h] &= 0,07, \end{aligned} \right\} \quad (2.5.1-2)$$

где f_{300} — остаточная стрелка прогиба балки набора, измеренная на базе 300 мм в районе максимума ее прогиба; c — отстояние точки максимума стрелки прогиба деформированной балки набора до ближайшей недеформированной ее опоры; d — максимальное отклонение деформированной балки набора от первоначальной плоскости, измеренное на уровне свободного пояса; h — высота стенки балки.

Для промежуточных значений пределов текучести $235 < R_{eH} < 390$ Н/мм² [$2400 < R_{eH} < 4000$ кгс/см²] применяется линейная интерполяция.

3 Балки набора в районе вмятины не должны иметь потери устойчивости стенки и пояска, повреждений сварных и заклепочных соединений.

4 Если осмотр набора не производится, для обеспечения требований 2.5.1.3 допускаемые характеристики искривления балки набора во вмятине определяются по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} [f_{300}] &= 300/h; \\ [f/c] &= 0,055; \\ [c/h] &= 3; \\ \left[\frac{f_a - f_b}{a} \right] &= \bar{d}, \end{aligned} \right\} \quad (2.5.1-3)$$

где f_a, f_b — максимальные стрелки прогиба двух смежных балок набора ($f_a > f_b$); a — расстояние между указанными балками; \bar{d} — числовая характеристика, устанавливаемая по табл. 2.5.1-2.

Таблица 2.5.1-2

h/l	\bar{d}
Менее 0,10	0,07
$0,10 \leq h/l \leq 0,25$	0,10
Более 0,25	0,12

Требования данного подпункта не распространяются на балки рамного набора.

2.5.2 Гофрировка.

Допускаемые значения остаточных стрелок прогиба гофров определяются по формуле

$$[f/a] = 1/14, \quad (2.5.2-1)$$

где f — стрелка прогиба; a — расстояние между балками набора.

При этом для настила расчетной палубы и обшивки днища в средней части длины при поперечной системе набора:

$$\left. \begin{aligned} [f/a] &= 1/20 \text{ при } L \geq 80 \text{ м;} \\ [f/a] &= 1/14 \text{ при } L < 60 \text{ м.} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.2-2)$$

При $60 \text{ м} \leq L < 80 \text{ м}$ $[f/a]$ определяется линейной интерполяцией между $1/14$ и $1/20$ в зависимости от L .

2.5.3 Бухтины.

Допускаемые значения остаточных стрелок прогиба бухтин определяются по табл. 2.5.3, за исключением настила расчетной палубы и обшивки днища в средней части длины при поперечной системе набора, для которых допускаемые стрелки прогиба бухтин определяются выражением:

$$\left. \begin{aligned} [f/a] &= 1/20 \text{ при } L \geq 80 \text{ м;} \\ [f/a] &= 1/12 \text{ при } L < 60 \text{ м.} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.3)$$

b/a	0,65 и менее	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
$[f/b]$	0,040	0,046	0,052	0,058	0,064	0,070	0,076	0,082

Примечания: 1. b — наименьший размер бухтины в плане; a — шпация балок набора в районе бухтины; $[f]$ — допускаемая стрелка прогиба.

2. Допускаемые стрелки прогиба бухтин приведены для листов из стали с пределом текучести $R_{eH}=235$ Н/мм² [$R_{eH}=2400$ кгс/см²]. Для листов с пределом текучести $R_{eH}\geq 390$ Н/мм² [$R_{eH}\geq 4000$ кгс/см²] табличные значения должны быть уменьшены умножением на 0,90. Для промежуточных пределов текучести применяется линейная интерполяция.

При длине судна $60\text{ м} \leq L < 80\text{ м}$ $[f/a]$ определяется линейной интерполяцией между значениями $1/12$ и $1/20$ в функции от L или по табл. 2.5.3 в зависимости от того, что дает меньшую стрелку прогиба.

Допускаемые остаточные стрелки прогиба бухтины по формуле (2.5.3) не должны превышать значений, определяемых по табл. 2.5.3.

2.5.4 Нормативы, приведенные в 2.5.2 и 2.5.3, распространяются на ширстречный пояс и палубный стрингер в средней части судна. При этом допускаемые значения остаточных стрелок прогиба гофров и бухтин $[f]$ в этих связях для судов длиной 80 м и более не должны превышать 20 мм.

Для судов меньших длин допускаемые стрелки прогиба в указанных связях должны устанавливаться по ведомственным методикам с учетом фактических запасов общей прочности корпуса судна и требований устойчивости.

2.5.5 Допускаемая суммарная протяженность бухтин и гофров в средней части судна с поперечной системой набора составляет в каждом сечении:

для настила расчетной палубы — 0,4 ширины палубы в районе люковых вырезов;

для обшивки днища — 0,4 ширины судна (в этом сечении);

для настила второго дна — 0,75 ширины судна (в этом сечении);

для обшивки борта — 0,75 высоты борта.

2.5.6 При толщине наружной обшивки более 25 мм допускаемая стрелка прогиба бухтин и гофров подлежит специальному рассмотрению Регистром.

2.6 Допускаемые дефекты сварных швов и заклепочных соединений. Трещины

2.6.1. Допускаемые коррозионные повреждения сварных швов листовых конструкций (обшивок настилов):

.1 для стыковых — износ на глубину не ниже поверхности соединяемых листов;

.2 для пазовых — износ до остаточной толщины шва, не меньшей чем 0,9 средней остаточной толщины наиболее тонкого

из соединяемых листов, но не более 2 мм от поверхности этого листа.

2.6.2 Допускаемые коррозионные повреждения сварных швов элементов набора (рамного и обыкновенного):

.1 для угловых — уменьшение калибра на 20% требуемого Правилами;

.2 для стыковых — износ на глубину не ниже поверхности допускаемых остаточных толщин соединяемых элементов.

2.6.3 Допускаемые дефекты сварных швов обшивок и настилов при сроке эксплуатации не более двух лет:

.1 для стыковых — износ до остаточной толщины шва, составляющей 0,95 средней остаточной толщины наиболее тонкого из соединяемых листов, но не более 1 мм от поверхности этого листа;

.2 для пазовых — износ до остаточной толщины шва, составляющей 0,85 средней остаточной толщины наиболее тонкого из соединяемых листов, но не более 3 мм от поверхности этого листа.

2.6.4 Допускаемый износ головки заклепок:

.1 для плоской или полукруглой — не более 0,2 диаметра стержня;

.2 для полупотайной — на глубину не более 0,1 диаметра стержня от поверхности листа.

2.6.5 При износе кромок листов минимально допустимое расстояние от центра заклепок крайнего ряда до изношенной кромки — 1,3 диаметра заклепок.

2.6.6 Не допускаются трещины в связях, обеспечивающих общую и местную прочность корпуса. Заварка таких трещин может быть допущена только по согласованию с Регистром.

3. Определение технического состояния корпуса

3.1 Основные положения

3.1.1 Числовые характеристики дефектов корпусных конструкций, полученные в результате измерений, должны быть представлены в форме, удобной для анализа и сопоставления с допускаемыми значениями. В ведомственных методиках должны быть предусмотрены формы представления данных о дефектах корпуса.

3.1.2 Пригодность корпусных конструкций к дальнейшей эксплуатации определяется на основании сопоставления числовых характеристик дефектов с их допускаемыми значениями, регламентируемыми разд. 2.

Если числовые характеристики дефекта конструкции равны или не превышают допускаемые, она считается пригодной к эксплуатации до следующего очередного освидетельствования, но не более чем на 4 года.

3.1.3 Корпусные конструкции, числовые характеристики дефектов связей которых не удовлетворяют нормативам, должны быть восстановлены. Способ восстановления, регламентируемый ведомственными методиками в зависимости от назначения судна, его конструкции, условий эксплуатации, возраста, времени предстоящей эксплуатации, в каждом случае согласовывается с Регистром.

По желанию судовладельца может быть рассмотрен вопрос об установлении эксплуатационных ограничений на основе соответствующих требований Правил, при которых нормативы допускаемых дефектов не будут превышены.

3.1.4 Эксплуатационные ограничения, выполнение которых обеспечивает сохранение необходимой степени безопасности судна, устанавливаются в зависимости от конкретных условий.

Ограничения бывают по району плавания, величине и распределению загрузки судна (увеличению надводного борта, специальному распределению грузов и балласта, исключению перевозки тяжелых или палубных грузов, уменьшению числа пассажиров); по условиям погоды (с учетом силы ветра и интенсивности волнения) и по сезону эксплуатации; по условиям плавания во льдах и швартовки в море; по роду перевозимых грузов и минимальной осадке носом; по мощности главных механизмов.

К эксплуатационным ограничениям относятся изменение назначения судна и перевод самоходного судна в несамоходное.

Допускается комбинация ограничений. Также могут быть сокращены периоды между освидетельствованиями корпуса судна.

3.1.5 Если предусматривается сокращение (или увеличение) срока эксплуатации судна до даты его ближайшего ремонта или списания, в ведомственных методиках должны содержаться указания, на основании которых могут (а для случаев увеличения сроков — должны) корректироваться значения допускаемых дефектов.

3.1.6 При замене элементов корпуса вследствие износа толщина (мм) вновь устанавливаемых при ремонте связей должна быть не менее

$$s = [s_1] + U_{ik}(\tau - 4), \quad (3.1.6)$$

где $[s_1]$ — допускаемая остаточная толщина элемента корпуса, заменяемого в данном ремонте; U_{ik} — среднегодовой износ рассматриваемой связи (на основе данных эксплуатации или средне-статистический в зависимости от того, что больше), мм/год; τ — срок возможной эксплуатации данной конструкции, лет.

Для листов наружной обшивки, обшивок поперечных переборок и элементов набора, расположенных в районах интенсивной вибрации, вновь устанавливаемые связи должны иметь толщины, требуемые Правилами.

3.2 Оценка технического состояния по основному моменту сопротивления поперечного сечения корпуса и остаточной площади расчетной палубы

3.2.1 Изношенные связи поперечного сечения корпуса в средней его части на судах, для которых Правилами регламентируется момент сопротивления поперечного сечения корпуса, подлежат восстановлению, если не удовлетворяется требование

$$W'_{\text{пал(дн)}} \geq [W_{\text{пал(дн)}}], \quad (3.2.1)$$

где $W'_{\text{пал(дн)}}$ — моменты сопротивления палубы (для нижней кромки палубного стрингера), днища (для верхней кромки горизонтального киля), определяемые с учетом редуцирования. Их значение вычисляется по средним остаточным толщинам связей корпуса s_{1i} ; $[W_{\text{пал(дн)}}]$ — допускаемое значение момента сопротивления согласно 2.2.1.

В качестве расчетного при определении $W'_{\text{пал(дн)}}$ принимается наиболее изношенное и конструктивно ослабленное сечение корпуса в пределах средней его части.

Редуцирование связей при определении $W'_{\text{пал(дн)}}$ выполняется для случаев прогиба (при сжатии палубы) и перегиба (при сжатии днища) судна. Расчетные изгибающие моменты при этом определяются в соответствии с Правилами.

3.2.2 Изношенные продольные связи расчетной палубы в средней части на судах, для которых Правилами регламентируется площадь поперечного сечения палубы, подлежат восстановлению, если не удовлетворяется требование

$$F'_{\text{пал}} \geq [F_{\text{пал}}], \quad (3.2.2)$$

где $F'_{\text{пал}}$ — площадь поперечного сечения продольных связей расчетной палубы, определяемая расчетом по средним остаточным толщинам этих связей s_{1i} ; $[F_{\text{пал}}]$ — допускаемая площадь поперечного сечения продольных связей расчетной палубы согласно 2.2.4.

В качестве расчетного при определении $F'_{\text{пал}}$ принимается наиболее изношенное и конструктивно ослабленное сечение расчетной палубы в пределах средней части.

3.2.3 Оценку общей прочности (см. 3.2.1, 3.2.2) допускается производить по средней остаточной толщине листов палубы (днища) s_2' в данном расчетном сечении, обеспечивающей условия, указанные в формулах (3.2.1) или (3.2.2).

3.2.4 В ведомственных методиках должны быть указания о степени износа связей корпуса, при которой необходимо проверять характеристики, указанные в 3.2.1 и 3.2.2 (в зависимости, например, от влияния износа отдельных связей на момент сопротивления поперечного сечения корпуса и от соотношения значений $[s_1]$ и $[s_2]$ палубы и днища).

3.3 Оценка технического состояния по остаточным характеристикам поперечного сечения связей корпуса

3.3.1 В районах между $0,15L$ и $0,35L$ от миделя (или на других участках длины в соответствии с Правилами, в зависимости от назначения судна и условий его загрузки) необходима проверка остаточной площади поперечного сечения обшивки борта от скулы до расчетной палубы (включая обшивку продольных переборок, если они установлены).

Остаточная площадь поперечного сечения обшивки борта и продольных переборок должна удовлетворять следующему условию:

$$A_s' \geq [A_s], \quad (3.3.1-1)$$

где $[A_s]$ — допускаемая остаточная площадь согласно 2.3.1.

Фактическая площадь поперечного сечения обшивки борта и продольных переборок определяется по формуле

$$A_s' = \sum_{i=1}^n s_{1i}' b_i, \quad (3.3.1-2)$$

где n — число поясьев; s_{1i}' — средняя остаточная толщина i -го пояса обшивки борта, продольной переборки в рассматриваемом поперечном сечении; b_i — ширина i -го пояса обшивки, переборки.

Для определения A_s принимается сечение, наиболее изношенное и конструктивно ослабленное в пределах, указанных в 3.3.1.

Проверка площади A_s' осуществляется, если несколько поясьев обшивки имеют среднюю остаточную толщину, близкую или равную допускаемой.

3.4 Оценка технического состояния по остаточным характеристикам отдельного элемента корпуса (листовые связи, набор)

3.4.1 Отдельный лист корпуса подлежит восстановлению, если его средняя остаточная толщина по условиям общего износа не удовлетворяет условию

$$s_1' \geq [s_1], \quad (3.4.1)$$

где s_1' — фактическая средняя остаточная толщина данного отдельного листа по результатам измерений; $[s_1]$ — допускаемая средняя остаточная толщина отдельного листа по условиям общего износа согласно 2.4.1.

3.4.2 Отдельный лист обшивки корпуса или часть его подлежит восстановлению, если его остаточная толщина в местах усиленного (местного) износа не удовлетворяет условию

$$s_3' \geq [s_3], \quad (3.4.2)$$

где s_3' — фактическая остаточная толщина данного участка листа в месте локального усиленного износа; $[s_3]$ — допускаемая остаточная толщина по условиям местного износа согласно 2.4.2.

3.4.3 Отдельная балка набора подлежит восстановлению в следующих случаях:

.1 остаточный момент сопротивления поперечного сечения балки не удовлетворяет условию

$$W_n' \geq [W_{н.о}], \quad (3.4.3-1)$$

где W_n' — фактический момент сопротивления балки набора, определенный расчетом по измеренным остаточным толщинам стенки, свободного и присоединенного поясков; $[W_{н.о}]$ — допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения балки согласно 2.4.4;

.2 остаточная площадь поперечного сечения стенки балки рамного набора не удовлетворяет условию

$$S_f' \geq [S_f], \quad (3.4.3-2)$$

где S_f' — фактическая площадь поперечного сечения стенки балки; $[S_f]$ — допускаемая остаточная площадь поперечного сечения стенки балки согласно 2.4.5;

3 средняя остаточная толщина стенки (пояска) балки в любом поперечном сечении не удовлетворяет условию

$$s_1' \geq [s_1], \quad (3.4.3-3)$$

где s_1' — средняя остаточная толщина стенки (пояска) балки по замерам; $[s_1]$ — допускаемая остаточная толщина элемента набора по 2.4.1.

Учитывая характер нагружения балки набора и условия ее работы, допускается принимать в отдельных сечениях балки в качестве допускаемой средней остаточной толщины ее элементов в данном сечении величину

$$[s_1] = [s_3], \quad (3.4.3-4)$$

где $[s_3]$ определяется согласно 2.4.2.

В ведомственных методиках для таких случаев следует дать указания конкретных мест набора, где этот норматив может быть применен.

3.5 Оценка технического состояния связей корпуса по остаточным деформациям

3.5.1 Вмятины.

1 Восстановлению подлежат все балки набора в районе вмятины, у которых

$$f'/l' > [f/l]. \quad (3.5.1-1)$$

где f' и l' — максимальные измеренные остаточные стрелки прогиба балки и протяженность вмятины вдоль этой балки; $[f/l]$ — допускаемые значения остаточных стрелок прогиба балок в районе вмятины, определяемые согласно 2.5.1.1.

2 Отдельные вмятины с максимальной стрелкой прогиба $f'_{\max} = 25$ мм могут не устраняться.

3 Вмятины в расчетной палубе и днище в пределах средней части, как правило, подлежат устранению. В этом районе могут быть оставлены единичные вмятины плавного характера, удовлетворяющие требованиям 2.5.1.3.

4 В конструкциях днища в районе $(0,05—0,30)L$ от носового перпендикуляра могут быть оставлены отдельные плавные вмятины ограниченных размеров, у которых отношение наибольшей стрелки прогиба балки набора к наименьшему размеру вмятины в плане не превышает $1/20$.

При этом должны выполняться требования 2.5.1.3, а отношение измеренной максимальной стрелки прогиба балки f'_{\max} к протяженности вмятины вдоль этой балки должно удовлетворять условию $f'_{\max}/l' < [f/l]$.

5 Балки набора в районе вмятины в конструкциях, на которые нет указаний в 3.5.1.1—3.5.1.4 и 3.5.1.7, могут не ремонтироваться, если удовлетворяются требования 2.5.1.3 и

$$\left. \begin{aligned} f'_{300} &< [f_{300}]; \\ f'/c' &< [f/c]; \\ d'/h' &< [d/h], \end{aligned} \right\} \quad (3.5.1-2)$$

где f'_{300} , f'/c' , d'/h' — фактические значения характеристик искривления балок набора во вмятине; $[f_{300}]$, $[f/c]$, $[d/h]$ — допускаемые значения этих характеристик согласно 2.5.1.2.

Если c не измеряется, проверка по f/c не производится.

.6 Если осмотр набора в районе вмятины не осуществляется, взамен требований 3.5.1.5 должны удовлетворяться требования:

$$\left. \begin{aligned} f'_{300} &< [f_{300}]; \\ f'/c' &< [f/c]; \\ c'/h' &< [c/h]; \\ (f_a - f_b) f'_a &< (f_a - f_b) a, \end{aligned} \right\} \quad (3.5.1-3)$$

где f'_{300} , f'/c' , c'/h' , $(f_a - f_b)/a$ — фактические значения характеристик искривления балок набора во вмятине; $[f_{300}]$, $[f/c]$, $[c/h]$, $[(f_a - f_b)/a]$ — допускаемые значения этих характеристик согласно 2.5.1.4.

Если c не измеряется, проверка по f/c и c/h не производится.

.7 Если в результате надзора установлено, что вмятина является прогрессирующим дефектом, должны ремонтироваться те балки набора, у которых допустимый срок эксплуатации T , определенный по формуле

$$T = \frac{[f]^2 - f_n^2}{f^2 - f_n^2} T_0, \quad (3.5.1-4)$$

меньше срока, оставшегося до очередного ремонта или списания судна. Здесь $[f]$ — допускаемое значение остаточных стрелок прогиба балок в районе вмятины, определяемое по 2.5.1.1; f и f_n — максимальные остаточные стрелки прогиба тех же балок соответственно по данным настоящих и предыдущих измерений; T_0 — период времени между измерениями.

.8 Если к данной вмятине должны быть применены требования или условия 3.5.1.1—3.5.1.7 одновременно, из этих требований (условий) выбираются наиболее жесткие.

3.5.2 Гофрировка.

.1 Устранению подлежат гофры в листах обшивки и настилов, у которых

$$f'/a > [f/a], \quad (3.5.2-1)$$

где f' — максимальная стрелка прогиба гофра; a — расстояние между смежными балками набора в районе гофра; $[f/a]$ — допускаемое значение стрелки прогиба гофров, определяемое по 2.5.2.

.2 Если надзором установлено, что гофрировка является прогрессирующим дефектом, следует устранить гофры обшивки,

допустимый срок эксплуатации которой T , определенный по формуле

$$T = \frac{[f]^2 - f^2}{f^2 - f_n^2} T_0, \quad (3.5.2-2)$$

меньше срока, оставшегося до очередного ремонта или списания судна. Здесь $[f]$ — допускаемое значение стрелки прогиба гофра согласно 2.5.2; f , f_n — максимальная стрелка прогиба гофров соответственно по данным настоящих и предыдущих измерений; T_0 — период времени между измерениями.

.3 Могут не устраняться гофры, максимальная стрелка прогиба которых меньше 25 мм (см. также 2.5.4).

3.5.3 Бухтины.

.1 Устранению подлежат бухтины в элементах корпусных конструкций, у которых

$$f'/a > [f/a] \quad (3.5.3-1)$$

или

$$f'/b' > [f/b], \quad (3.5.3-2)$$

где f' — измеренная максимальная стрелка прогиба бухтины; a — расстояние между смежными балками набора в районе бухтины; $[f]$ — допускаемое значение стрелки прогиба бухтин, определяемое по 2.5.3; b' — наименьший измеренный размер бухтины в плане.

Применение формулы (3.5.3-1) или (3.5.3-2) определяется требованиями 2.5.3.

.2 Могут не устраняться бухтины, максимальная стрелка прогиба которых меньше 25 мм.

3.5.4 Устранению подлежат гофры с максимальной стрелкой прогиба более 20 мм в ширстречном поясе и палубном стрингере в средней части в случаях, оговоренных в 2.5.4, в настиле расчетной палубы и обшивке днища в средней части судна на судах длиной более 80 м в районах окончания прерывистых связей (надстроек, рубок, продольных комингсов, переборок и т. п.).

3.5.5 Устранению подлежат гофры и бухтины в средней части судна с поперечной системой набора, суммарная протяженность которых в поперечном сечении превышает допускаемую (см. 2.5.5).

3.6 Оценка технического состояния корпуса по состоянию сварных швов и заклепочных соединений

3.6.1 Восстановлению подлежат сварные швы, числовые характеристики дефектов которых превышают допускаемые согласно 2.6.1 и 2.6.2.

3.6.2 Восстановлению подлежат заклепочные соединения, числовые характеристики дефектов которых превышают допускаемые согласно 2.6.4 и 2.6.5.

Обязательно подлежат замене заклепки слабые, водотечные, а также с односторонним обнаженным потаем на величину более 0,1 диаметра заклепки.

Глубина зенковки при замене потайных заклепок должна быть не более 0,9 и не менее 0,7 остаточной толщины той связи, в которой она выполнена. При мелкой зенковке и наличии пороков клепки (что устанавливается выборочной засверловкой заклепок) допускаемая глубина разрушения потайной головки должна быть уменьшена до 1/20 диаметра заклепки.

Если в заклепочных соединениях конструкций из алюминиевых сплавов со сталью имеется расхождение соединенных листов более чем на 2 мм, заклепки должны быть заменены.

При утонении листа из алюминиевого сплава в этом районе более чем на 20% первоначальной его толщины участок изношенного листа должен быть удален, а заклепочный шов переклепан.

3.6.3 Восстановлению подлежат связи, обеспечивающие общую и местную прочность в местах образования трещин.

При массовом образовании трещин в корпусных конструкциях на однотипных судах должны быть приняты меры по устранению причин их появления.

4. Указания по определению числовых характеристик дефектов

4.1 Основные положения

4.1.1 Измерение числовых характеристик дефектов должно производиться средствами измерений, одобренными Регистром.

Нормативные метрологические свойства применяемых средств измерения должны соответствовать одобренным Регистром стандартам.

В ведомственные методики по согласованию с Регистром допускаются вносить указания о степени точности, с которой должны измеряться дефекты корпусных конструкций.

Измерение остаточных толщин элементов корпуса должно, как правило, производиться неразрушающими методами. При необходимости проверки полученных данных допускается производить измерение посредством контрольных сверловок.

Глубина коррозионных язв и раковин измеряется глубиномером, индикатором часового типа или другим подобным прибором.

Толщины элементов набора, где это технически возможно, могут измеряться штангенциркулем, микрометром и т. п.

Стрелки прогиба вмятин, гофрировок и бухтин измеряются стандартным измерительным инструментом, в том числе, если это требуется, и индикаторами часового типа.

4.1.2 Объемы измерений и сроки освидетельствования корпусных конструкций устанавливаются Руководством.

Район обследования поврежденных конструкций устанавливается по результатам освидетельствования и на основании выборочных замеров с учетом опыта надзора за корпусами судов данного типа.

4.1.3 Определенные по данным измерений числовые характеристики дефектов должны быть достаточны для установления технического состояния корпуса.

Форма представления материалов измерений и порядок их обработки должны быть указаны в ведомственных методиках.

При осмотрах связей корпуса, которые могут подвергаться интенсивной коррозии, необходимо обращать внимание на районы, где возможно частое отпотевание, где в условиях эксплуатации невозможно или неудобно проведение технического обслуживания (сухие отсеки под машинным отделением, сточные колодцы, обшивка под приемниками систем и т. п.).

При разработке ведомственных методик рекомендуется (а в специальных нормах серий судов — необходимо) указывать наиболее повреждаемые места и конструкции корпусов судов, выявленные в процессе эксплуатации.

4.2 Определение остаточных толщин листовых элементов

4.2.1 Состояние конструкций корпуса после износа характеризуется остаточными толщинами, под которыми понимается фактическая толщина изношенного листа в точке замера.

Различаются следующие остаточные толщины:

.1 средняя связи s_1 — по общему износу одной связи;

.2 средняя листовых связей палубы (днища) в данном поперечном сечении корпуса s_2 — по общему износу этих связей;

.3 минимальная деталей корпуса в районе локального утонения s_3 — по местному износу.

4.2.2 Средняя остаточная толщина листа по условиям общего износа определяется по формуле

$$s_1 = \sum_{i=1}^n s_i / n, \quad (4.2.2)$$

где s_i — фактическая остаточная толщина в данной точке; n — число замеров на данном листе.

Число замеров на листе должно быть не менее трех (рис. 4.2.2, а). Если разность между толщинами листа в точках замеров превышает 1,5, но менее 3 мм, число замеров должно быть увеличено до семи (рис. 4.2.2, б). По этой же схеме необходимо измерять остаточные толщины, если после замеров по рис. 4.2.2, а выяснилось, что они составляют около 0,80 первоначальных.

Если наибольший износ сосредотачивается вдоль линии крепления балок набора, толщина s_1 определяется по наиболее изно-

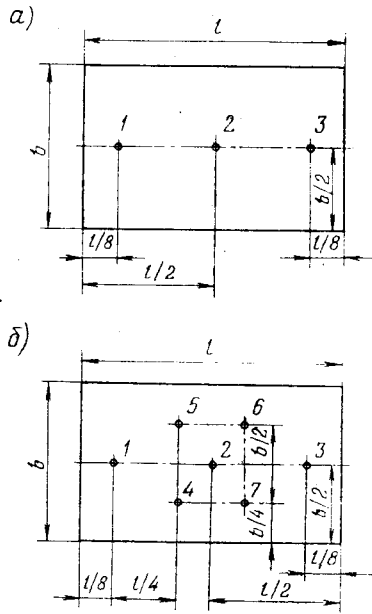


Рис. 4.2.2. Схемы измерения остаточных толщин листа

шенному месту (в зоне приварки балок, но не далее 15 мм от стенки, вдоль линии наибольшего износа на листе и т. п.).

При определении s_1 в число замеров s_i должны входить также замеры в местах усиленного местного износа. Число таких замеров при этом зависит от площади листа, охваченной таким износом. В связи с этим в ведомственных методиках должны быть сделаны детальные указания по замерам толщин (см. также 4.2.5).

4.2.3 Средняя остаточная толщина листовых связей палубы (днища) в данном поперечном сечении корпуса определяется по формуле

$$s_2 = \frac{\sum_{j=1}^m s_{1j} b_j}{\sum_{j=1}^m b_j}, \quad (4.2.3)$$

где m — число листов в рассматриваемом поперечном сечении; s_{1j} — средняя остаточная толщина согласно 4.2.2 для листа с номером j ; b_j — ширина j -го листа.

4.2.4 Минимальная остаточная толщина отдельного листа в районе локальных (местных) усиленных износов s_3 , представляющих собой сплошные значительные утонения листа или скопления глубоких язвин, измеряется в пределах участка листа (или двух смежных листов и более), ограниченного смежными балками набора.

Места усиленного износа устанавливаются по опыту надзора, или при освидетельствовании визуально, или при замерах величины (согласно 4.2.2). В последнем случае о наличии мест усиленного износа может свидетельствовать разность значений толщин, полученная при замерах и превышающая 2,5—3,0 мм (или меньшая в зависимости от средней остаточной толщины листа).

Указания по определению допускаемой площади распространения усиленного местного износа на участке листа (листов), ограниченном смежными балками набора, должны производиться в ведомственных методиках и в методиках разработки специальных норм для каждого типа перекрытий судов одной серии в зависимости от характера их нагружения, степени участия в обеспечении общей и местной прочности.

При этом необходимо учитывать требования 4.2.5.

4.2.5 Если при поперечной системе набора на участке листа, ограниченном смежными балками набора, усиленный местный износ распространен более чем на 40% площади, средняя остаточная толщина всего листа s_1 определяется согласно 4.2.2 только по замерам толщин на этом участке. При этом число замеров и их расположение на участке листа принимаются соответственно рис. 4.2.2, б. При распространении зоны усиленного износа главным образом по ширине (высоте) судна замеры производятся только в этой зоне.

4.3 Определение остаточных толщин элементов набора

4.3.1 При определении износа судового набора измеряются остаточные толщины стенок и свободных поясков.

Средняя остаточная толщина элементов набора (стенки, пояска) в пределах судового перекрытия (либо на длине расчетного пролета) определяется по формуле

$$s_1 = \sum_{i=1}^n s_i / n, \quad (4.3.1)$$

где s_i — измеренная остаточная толщина в данной точке; n — число замеров на данной балке.

4.3.2 При измерениях элементов набора, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации, в пределах одного отсека (например, трюма, твиндека, грузового танка, цистерны и т. п.) число замеров выбирается исходя из следующих рекомендаций:

для днищевого поперечного набора — на каждом 4-м флоре (в том числе на всех водонепроницаемых) по одному замеру в промежутках между вертикальным килем и стрингером, стрингерами и междудонным листом или при отсутствии днищевых стрингеров в 3—4 точках по ширине судна (отсека). Если в отсеке меньше 4 флоров, должен быть измерен один любой флор;

для карлингсов, отбойного листа, днищевых стрингеров, вертикального киля, крайних междудонных листов — в 3—5 точках по длине каждого трюма или отсека;

для днищевых продольных балок — на 3—4 балках по ширине судна (отсека) в 3—5 точках на каждой балке в каждом отсеке;

для палубного поперечного набора — на каждом 4-м бимсе в 3—4 точках по ширине судна (отсека);

для шпангоутов, вертикальных стоек переборок — на каждом 4-м шпангоуте или стойке, на каждом 4-м рамном шпангоуте в 3—4 точках по высоте;

для горизонтальных бортовых балок по длине трюма и горизонтальных балок переборок по половине ширины трюма — на 2—3 балках в 3—4 точках;

для бортовых стрингеров и шельфов переборок — в 3—4 точках по длине трюма.

4.3.3 В форпике и ахтерпике должны быть произведены замеры толщин нижних частей каждого 3-го шпангоута в местах соединения со скуловыми кницами, льяльными крышками, в местах цементной заливки над скулами и в районе бортовых стрингеров.

Число замеров остаточных толщин связей корпуса может уточняться с учетом особенностей конструкций, размеров судна и технического состояния корпуса.

4.3.4 При наличии по длине балки набора (или высоте ее стенки) мест с усиленным местным коррозионным износом остаточные характеристики сечения балки, перечисленные в 3.4.3, устанавливаются по фактическим толщинам наиболее изношенного сечения балки, в котором и следует проводить подробные замеры. В ведомственных методиках должны быть приведены детальные указания по числу таких замеров в сечении балки в зависимости от

характера распространения по сечению местного усиленного износа (см. также 2.4.7).

4.3.5 При осмотре набора следует обращать внимание на места появления очагов местной коррозии в частности в соединениях элементов балки с кницами и бракетами, а также в местах взаимного пересечения балок продольного и поперечного набора.

Необходимо проверить, достаточно ли надежно обеспечено соединение набора с листами наружной обшивки, настилами палуб, настилом второго дна.

4.4 Определение характеристик остаточных деформаций

4.4.1 При обследовании остаточных деформаций должны учитываться особенности корпусов судов и опыт технического надзора за ними.

Измерение максимальных стрелок прогиба вмятин, гофрировок и бухтин производится по отношению к первоначальной, недеформированной поверхности корпуса.

Измерение стрелки прогиба f_{300} на базе 300 мм выполняется индикатором часового типа или штангенциркулем с глубиномером, укрепленным на планке с неподвижными ножками, расстояние между осями которых составляет 300 мм.

4.4.2 При определении s (см. 2.5.1.2) опорой для балок набора могут быть палубы, переборки, платформы, рамные связи и т. п., при этом замер выполняется до ближайшей из этих связей.

При проверке согласно 2.5.1 s не измеряется и не применяется, если имеются деформации опоры, вмятина не доходит до опоры или охватывает меньше пяти смежных балок набора.

4.4.3 Вмятины.

.1 В районе вмятины измеряется максимальная стрелка прогиба f_{\max} наиболее деформированной балки набора.

.2 Для всех вмятин, у которых $f_{\max} \geq 25$ мм, максимальные стрелки прогиба f балки и протяженность l вмятины вдоль балки измеряются для каждой балки набора, расположенной в районе вмятины.

.3 Измерение характеристик искривления балок набора во вмятине выполняется, если ремонт балки, предусмотренный 3.5.1, не требуется, но максимальная стрелка прогиба вмятины $f_{\max} > 25$ мм.

Со стороны наружной обшивки f_{300} измеряется вдоль балки набора или на свободном пояске балки. Если в районе замера стенка балки имеет бухтину, результаты замеров следует корректировать умножением на 1,05.

4.4.4 Вмятины, гофрировки и бухтины должны быть кратко описаны с приведением численных характеристик их дефектов и приложением эскиза повреждения.

В ведомственных методиках должны быть даны указания по форме представления данных об остаточных деформациях и уточненные способы определения их численных характеристик.

4.5 Обследование сварных и заклепочных соединений

где m_S и m_H — коэффициенты, определяемые по следующим формулам:

$$m_S = 1,2 - 0,2C_B \quad (2.2-2)$$

при прогибе судна (положение судна на подошве волны);

$$m_H = 0,8 + 0,2C_B \quad (2.2-3)$$

при перегибе судна (положение судна на вершине волны); C_B — высота волны, определяемая в 1.5.3.1 ч. II «Корпус» Правил; α_x — коэффициент, определяемый по 1.5.3.3 ч. II «Корпус» Правил.

2.2.1 При повышенной скорости судна и значительном развале бортов в носовой оконечности (см. 2.2.2) волновой изгибающий момент (кН·м) в рассматриваемом сечении при прогибе корпуса для участка длины судна между сечениями $0,1L$ и $0,4L$ от носового перпендикуляра должен определяться по формуле

$$M_{\psi,x}^s = 0,11 m_S \psi_1 v_x C_n B L^2 (C_B + 0,7), \quad (2.2.1-1)$$

где m_S — см. формулу (2.2-2);

ψ_1 — коэффициент, определяемый по формуле

$$\psi_1 = (1 + F) A / L f. \quad (2.2.1-2)$$

Здесь F — параметр, определяемый согласно 1.5.3.3-3 ч. II «Корпус» Правил; A — разность между площадями горизонтальных проекций корпуса (включая бак) и летней грузовой ватерлинии в нос от сечения на $0,2L$ от носового перпендикуляра (рис. 2.2.1), m^2 ; f — расстояние от летней грузовой ватерлинии до расчетной палубы в сечении $0,1L$ от носового перпендикуляра, м;

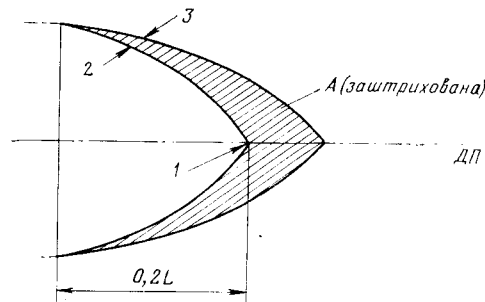


Рис. 2.2.1:

1 — носовой перпендикуляр; 2 — летняя грузовая ватерлиния; 3 — линия расчетной палубы, включая бак

трещин составляется по результатам надзора и должен отражаться в ведомственных методиках и специальных нормах.

4.6.2 Трещины, разрывы, пробоины, визуально обнаруживаемые на корпусных конструкциях, должны быть описаны с указанием длины, степени раскрытия и места расположения, возможных причин их появления и требований по устранению и профилактике таких случаев в аналогичных конструкциях. Рекомендуется приложить эскиз повреждения.

В ведомственных методиках должны быть приведены формы по регистрации параметров трещин (разрывов).

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СВЯЗЕЙ КОРПУСА СУДНА

**Вспомогательная информация
необязательного характера**

Методика предназначена для расчета устойчивости таких конструктивных элементов корпуса судна, как пластины обшивки палубы, бортов, днища и переборок; пластины стенок и пояски рамных балок; пластины, ослабленные вырезами; балки основного набора; пиллерсы; распорки бортовых танков наливных судов; распорные бимсы в форпике, а также пластины, подкрепленные ребрами (панели); гофрированные конструкции и плоские перекрытия палуб и бортов.

Приведенные способы расчета могут рассматриваться как методический материал, дополняющий Правила классификации и постройки морских судов Регистра СССР* в части расчета устойчивости упомянутых выше конструктивных элементов и отдельных корпусных конструкций, использование которого целесообразно в прямых расчетах прочности для случаев, не регламентированных Правилами (например, для установления технического состояния претерпевших износ корпусов судов).

1. Общие указания

1.1 В Методике приведены расчетные зависимости для вычисления нагрузок, определяемых с точки зрения критерия устойчивости, для различных типов конструктивных элементов, узлов и отдельных конструкций корпуса судна, выполненных из стали, а также значения коэффициентов запаса при действии этих нагрузок.

1.2 Основными понятиями, используемыми в Методике, являются:

1 критическая нагрузка — максимальная нагрузка, которая может быть выдержана элементом конструкции в состоянии упругого или упругопластического равновесия;

2 предельная нагрузка — нагрузка, приводящая к потере функции и разрушению конструкции (образование пластических шарниров, выпучивание, характеризующееся значительными размерами деформирования);

3 критическое состояние — достижение напряжениями в элементе конструкции критических значений (см. ниже);

* В дальнейшем — Правила.

ной нейтральной оси и до уровня рассматриваемой связи соответственно, м.

2.4 Значение касательных напряжений (МПа), обусловленных действием перерезывающей силы для судна без продольных переборок, может быть определено по формуле

$$\tau = 50(Q_{sw} + Q_w) S_x / I_x s, \quad (2.4-1)$$

где Q_{sw} , Q_w — значения перерезывающих сил на тихой воде и волновых в рассматриваемом сечении согласно 1.5.5.1 ч. II «Корпус» Правил, кН; S_x — статический момент рассматриваемого поперечного сечения продольных связей, лежащих по одну сторону от точки, для которой определяются касательные напряжения (имеются в виду связи, лежащие в сторону от нейтральной оси: над или под ней) относительно горизонтальной нейтральной оси, см³; I_x — см. 2.3.1 настоящей Методики; s — толщина рассматриваемой связи, мм.

При наличии у судна непрерывных продольных переборок распределение перерезывающей силы между бортами и продольными переборками может быть определено расчетным путем. Если такое распределение известно, то действующие в продольной связи касательные напряжения (МПа) следует определять по формуле

$$\tau = 100\chi(Q_{sw} + Q_w) S_x / I_x s, \quad (2.4-2)$$

где χ — степень участия борта или продольной переборки в восприятии перерезывающей силы, выраженная в долях единицы.

2.5 Нормальные и касательные напряжения от свободного и стесненного кручения могут быть определены по Методике расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при скручивании.

2.6 Во всех других случаях, не указанных выше, напряжения в связях находятся прямым расчетом с использованием нагрузок, определяемых в соответствующих разделах ч. II «Корпус» Правил, или действительных нагрузок (если последние превышают нагрузки, регламентируемые Правилами).

3. Ширина присоединенного пояска

3.1 Ширина (м) присоединенного пояска балок основного набора при оценке их устойчивости определяется по формуле

$$b_e = 0,5b(1 + \varphi), \quad (3.1-1)$$

где b — расстояние между балками, параллельными действующим сжимающим напряжениям, м; φ — редуцированный коэффициент:

$$\varphi = \sigma_{crpl} / \sigma_c. \quad (3.1-2)$$

Здесь σ_{crpl} — критическое напряжение пластины, определяемое в разд. 5 и 6 настоящей Методики; σ_c — напряжения, действующие в балках набора. Для случая общего продольного изгиба эти напряжения могут быть определены по формулам (2.3.1) и (2.3.2).

σ_i должны приниматься напряжения от чистого изгиба, равномерного сжатия (растяжения) или сдвига; σ_{cr_i} — критические нормальные и касательные напряжения, приводящие к потере устойчивости или появлению текучести, если i -я компонента нагрузки действует на конструктивный элемент одна.

Примечания: 1. Под конструктивным элементом в формулах (1.3-3) и (1.3-4) понимается отдельная пластина или отдельная балка набора, отдельный пиллерс, распорка или распорный бимс, свободный пояс балки.

2. Если показатель степени K_i в формулах (1.3-3) и (1.3-4) неизвестен, следует принимать $K_i=1$.

При практических расчетах для оценки устойчивости в правой части выражений (1.3-3) и (1.3-4) следует использовать значения коэффициента запаса η , приведенные в разд. 4.

1.4 Методика позволяет осуществлять оценку устойчивости таких конструктивных элементов корпуса судна, как пластины обшивки палубы, бортов, днища и переборок; пластины стенок рамных балок; пластины, ослабленные вырезами; балки основного набора; свободные пояски рамных и балок основного набора; пиллерсы; распорки бортовых танков и распорные бимсы в форпике. Кроме того, Методика позволяет оценивать устойчивость панелей (пластин, подкрепленных ребрами), гофрированных конструкций и плоских перекрытий.

Расчеты по Методике носят, в основном, проверочный характер, так как определяющим критерием установления размеров конструктивных элементов и узлов является, как правило, критерий прочности.

2. Расчетные нагрузки

2.1 В качестве расчетных нагрузок при проверке устойчивости связей корпуса используются:

сумма волнового изгибающего момента обеспеченностью 10^{-9} — 10^{-8} и максимально возможного при эксплуатации изгибающего момента на тихой воде;

расчетная перерезывающая сила, являющаяся результатом интегрирования кривой нагрузки судна, для судов в соответствии с 1.5.1.2 (группа 2) и 1.5.2.3 ч. II «Корпус» Правил;

расчетный крутящий момент в соответствии с Методикой расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при скручивании¹;

нагрузки, определяемые прямыми расчетами либо в соответствующих разделах ч. II «Корпус», о чем в тексте Методики сделаны специальные указания.

2.2 Волновой изгибающий момент (кН·м), используемый для проверки устойчивости связей корпуса в рассматриваемом сечении при общем вертикальном изгибе, определяется по формуле

$$M_{wx} = 0,11 m_s H C_n B L^2 (C_B + 0,7) \sigma_x, \quad (2.2-1)$$

¹ См.: Сборник нормативно-методических материалов. Книга первая. — Л.: Транспорт, 1979. — С. 4—73.

4.5.1 При определении допускаемых износов сварных швов сварные соединения листов обшивки и настилов подразделяются по характеру их работы на:

стыковые швы, расположенные поперек направления действия основного усилия, приложенного к данной конструкции (например, швы листов днищевой обшивки, настила палубы, идущие поперек судна; швы обшивки переборок, параллельные стойкам, и т. п.);

пазовые швы, расположенные вдоль направления действия основного усилия, приложенного к данной конструкции (например, швы листов днищевой обшивки, настила палубы, идущие вдоль судна; швы обшивки переборок, перпендикулярные стойкам, и т. п.).

4.5.2 Техническое состояние сварных швов определяется визуально и замерами. Качественная оценка равномерного износа стыковых швов производится сопоставлением с поверхностью соединяемых листов.

Оценка износа углового шва определяется замером катетов.

4.5.3 Участки пораженных коррозией стыковых сварных швов длиной до 100 мм следует рассматривать как участки с язвенной коррозией, подпадающие под действие соответствующих нормативов. Остаточная толщина стыкового сварного шва в районе местного износа определяется как разность между остаточной толщиной листа вблизи изношенного шва и глубиной язвы в сварном шве.

4.5.4 Состояние заклепочных соединений проверяется визуально, обстукиванием заклепочных швов, выборочными замерами заклепок, кромок листов, испытанием непроницаемости там, где это требуется.

4.6 Обследование трещин

4.6.1 Корпусные конструкции должны подвергаться тщательному осмотру для выявления трещин, разрывов и пробоин, наиболее вероятными районами появления которых могут быть следующие:

.1 места повышенной концентрации напряжений — конструкции в районах окончания прерывистых связей (у концов надстроек, в местах резкого обрыва связей и окончания комингсов, в переходных листах от ширстрека к надстройке, у углов вырезом люков, у вырезом с малыми радиусами закругления и т. д.). При наличии интенсивного износа и повышенных напряжений в этих местах вероятность появления трещин повышается;

.2 места, подверженные интенсивной вибрационной или ударной нагрузке (ходовая и волновая вибрации, слеминг, ледовая и швартовная нагрузки, гидродинамические нагрузки) — конструкции в районах кормовой и носовой оконечностей, бортовые в районах переменных ватерлиний, днищевых перекрытий танкеров, продольных и поперечных переборок и т. д.

Уточненный перечень мест наиболее вероятного появления

v_x — коэффициент, значения которого в зависимости от положения рассматриваемого сечения по длине судна приведены в таблице.

x/L	$F.P.$	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4
v_x	0	0,5	0,81	0,97	0,99	1,00

2.2.2 Проверка волнового изгибающего момента по формуле (2.2.1-1) выполняется только в том случае, если $\psi_1 > 0,66$.

2.3 Действующие в корпусе сжимающие напряжения от общего продольного изгиба.

2.3.1 Действующие в рассматриваемом сечении корпуса сжимающие напряжения (МПа) при прогибе судна для пластин и продольных связей, расположенных выше горизонтальной нейтральной оси сечения корпуса, определяются по формуле

$$\sigma_c^s = (M_{wx}^s + M_{swx})(z_d - z_y) \cdot 10^5 / I_x, \quad (2.3.1)$$

где M_{wx}^s — волновой изгибающий момент в рассматриваемом сечении, вызывающий прогиб корпуса, определяемый по формулам (2.2-1) или (2.2.1-1); M_{swx} — наибольший изгибающий момент в рассматриваемом сечении, вызывающий прогиб судна на тихой воде, кН·м. Если во всех рассмотренных согласно 1.5.2 ч. II «Корпус» Правил случаях нагрузки на тихой воде судно не может иметь прогиба, то следует принимать $M_{swx} = 0$; I_x — фактическое значение момента инерции рассматриваемого поперечного сечения корпуса с учетом возможного редуцирования согласно разд. 3 настоящей Методики, см⁴; z_d — отстояние теоретической линии палубы судна от нейтральной оси, м; z_y — отстояние от теоретической линии палубы судна до уровня рассматриваемой связи, м. Для связей, расположенных выше теоретической линии палубы, z_y принимается со знаком «минус».

2.3.2 Действующие в рассматриваемом сечении корпуса сжимающие напряжения (МПа) от общего продольного изгиба при перегибе судна для пластин и продольных связей, расположенных ниже горизонтальной нейтральной оси сечения корпуса, определяются по формуле

$$\sigma_c^h = (M_{wx}^h + M_{swx})(z_b - z_y) \cdot 10^5 / I_x, \quad (2.3.2)$$

где M_{wx}^h — волновой изгибающий момент в рассматриваемом сечении, вызывающий перегиб корпуса, определяемый по формуле (2.2-1); M_{swx} — наибольший изгибающий момент в рассматриваемом сечении на тихой воде, вызывающий перегиб корпуса, кН·м. Если во всех рассмотренных согласно 1.5.2 ч. II «Корпус» Правил случаях нагрузки на тихой воде судно не может иметь перегиба, то следует принимать: $M_{swx} = 0$; I_x — см. 2.3 настоящей Методики; z_b , z_y — отстояние основной линии корпуса от горизонталь-

4 эйлеровы напряжения — максимальные теоретические напряжения, воспринимаемые конструктивным элементом в состоянии равновесия при условии, что материал элемента подчиняется закону Гука во всем диапазоне нагрузок;

5 критические напряжения — максимальные напряжения, которые может выдерживать элемент конструкции в состоянии упругого или упругопластического равновесия, вычисленные с учетом отклонения от закона Гука за пределом пропорциональности материала;

6 предельное состояние — состояние, характеризующееся исчерпанием элементом конструкции несущей способности и разрушением или потерей функции.

Примечание. В дальнейшем везде, если не делается специальных оговорок, речь идет о критических напряжениях и нагрузках. Значения коэффициентов запаса вводятся также по отношению к критическим напряжениям.

1.3 Значение коэффициента запаса вводится при действии только однокомпонентной нагрузки по следующим формулам:

$$\eta = \sigma / \sigma_{cr} \quad \text{либо} \quad \eta = \tau / \tau_{cr}, \quad (1.3-1)$$

где σ , τ — действующие нормальные сжимающие и касательные напряжения; σ_{cr} , τ_{cr} — критические нормальные и касательные напряжения.

При одновременном действии нормальных сжимающих и касательных напряжений коэффициент запаса определяется по формуле

$$\eta = \sigma_{eq} / \sigma_{eq cr}, \quad (1.3-2)$$

где σ_{eq} — приведенные (эквивалентные) напряжения при одновременном действии нормальных сжимающих и касательных напряжений; $\sigma_{eq cr}$ — критические приведенные напряжения для конструктивного элемента.

В более общем случае, если элемент подвержен воздействию нескольких (сжимающих, растягивающих и срезающих) нагрузок, условие его равновесия может быть записано в виде

$$\sum_{i=1}^N (P_i / P_{cr_i})^{K_i} < 1, \quad (1.3-3)$$

где N — число составляющих нагрузки; P_i — значение i -й компоненты нагрузки; P_{cr_i} — значение i -й компоненты нагрузки, соответствующее потере устойчивости или возникновению текучести, если эта компонента нагрузки действует одна; K_i — показатель степени, больший или равный единице.

Условие (1.3-3) может быть также записано в виде

$$\sum_{i=1}^N (\sigma_i / \sigma_{cr_i})^{K_i} < 1, \quad (1.3-4)$$

где σ_i — действующие нормальные или касательные напряжения, обусловленные действием i -й компоненты нагрузки; в качестве

3.2 Для поперечной системы набора ширина присоединенного пояска b_e определяется в соответствии с формулой (3.1-1). Для продольной системы эта ширина, определенная по формуле (3.1-1), не должна приниматься, однако, более ширины, устанавливаемой 1.2.6.2 ч. II «Корпус» Правил.

3.3 В предельном случае ширина присоединенного пояска должна определяться для напряжения σ_c , равного критическому напряжению сжатой связи, определяемому формулой (8.1) настоящей Методики. Так как входящая в эту формулу величина $i = \sqrt{I/S}$ зависит от ширины присоединенного пояска, то для определения этой ширины необходима процедура последовательных приближений.

Примечание. Вследствие трудоемкости расчетов эквивалентного бруса допускается принимать ширину присоединенного пояска равной 0,6 расстояния между балками набора, а при расчетах по предельному состоянию — $0,44b$ (где b — расстояние между продольными балками для продольной и между поперечными — для поперечной системы набора).

4. Коэффициенты запаса устойчивости

Понятие коэффициента запаса устойчивости приведено в разд. 1. Значения этих коэффициентов в зависимости от типа конструктивных элементов, узлов или конструкций равны:

для пластин и панелей палубного стрингера; ширстрека; килевого пояса; поясьев палубы и днища, примыкающих к непрерывным продольным переборкам; верхних и нижних поясьев непрерывных продольных переборок, а также для всех пластин днища и второго дна для судов с двойным дном; скулового пояса; пластин стенок составных сварных балок (основного набора и рамных), в том числе пластин, имеющих неподкрепленные облегающие вырезы, — 0,90;

для пластин и панелей, образованных остальными поясьями палубы; днищ судов с одинарным дном; наружной обшивки и непрерывных продольных переборок — 0,95;

для балок основного набора при их изгибном и изгибно-крутильном деформировании; для свободных поясков балок основного набора — 0,85;

для непрерывных плоских перекрытий и свободных поясков рамных связей — 0,80.

5. Определение критических напряжений

Критические напряжения определяются из следующих зависимостей:

$$\sigma_{cr} = \sigma_E \text{ при } \sigma_E \leq R_{eH}/2; \quad (5-1)$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} (1 - R_{eH}/4\sigma_E) \text{ при } \sigma_E > R_{eH}/2; \quad (5-2)$$

$$\tau_{cr} = \tau_E \text{ при } \tau_E \leq R_{eH}/2\sqrt{3}; \quad (5-3)$$

$$\tau_{cr} = R_{eH}/(4\sqrt{3}\tau_E) / \sqrt{3} \text{ при } \tau_E > R_{eH}/2\sqrt{3}, \quad (5-4)$$

где σ_E, τ_E — эйлеровы нормальные и касательные напряжения, МПа; σ_{cr}, τ_{cr} — критические нормальные и касательные напряжения, МПа; R_{cH} — предел текучести материала, МПа.

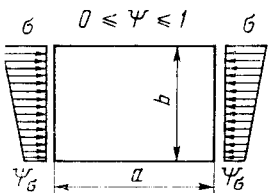
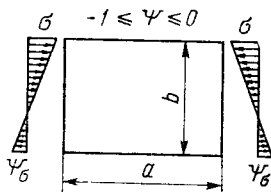
6. Эйлеровы напряжения пластин корпуса

6.1 Эйлеровы напряжения (МПа) пластин палубы, бортов, днища, настила второго дна и непрерывных продольных переборок, исключая скуловой пояс, определяются по формуле

$$\sigma_E = 0,2n_s(s/b)^2, \quad (6.1)$$

где n_s — коэффициент, учитывающий степень неравномерности сжатия кромок и удлинение пластины; s — толщина пластины, мм; b — сторона пластины, перпендикулярная направлению действующих сжимающих напряжений, м.

Значения коэффициента n_s в зависимости от вида нагружения пластины и отношения сторон приводятся в таблице.

Вид нагружения	$\gamma = a/b$	n_s
 <p style="text-align: center;">$0 \leq \psi \leq 1$</p>	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$8,4/(\psi+1,1)$ $2,1C(\gamma+1/\gamma)^2/(\psi+1,1)$
 <p style="text-align: center;">$-1 \leq \psi \leq 0$</p>	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$10\psi^2 - 6,4\psi + 7,6$ $C[10\psi^2 - 14\psi + 1,9(1+\psi)] \times$ $\times (\gamma+1/\gamma)^2$

Здесь ψ — коэффициент, учитывающий степень неравномерности сжатия кромок пластины; C — коэффициент, учитывающий влияние кручения поперечных подкрепляющих балок при поперечной системе набора, т. е. при $\gamma < 1$, в зависимости от профиля подкрепляющих балок равный 1,2 — при угловом или тавровом; 1,1 — при бульбовом и 1,0 при полосовом профиле.

6.2 Учет касательных напряжений при оценке устойчивости пластин корпуса

6.2.1 Для судов в соответствии с 1.5.1.2 (группа 2) и 1.5.2.3 ч. II «Корпус» Правил целесообразна проверка устойчивости пластин корпуса при действии касательных напряжений.

6.2.2 Эйлеравы касательные напряжения (МПа) для прямоугольной пластины, равномерно загруженной по кромкам касательными усилиями, определяются по формуле

$$\tau_E = 0,2n_\tau (s/b)^2, \quad (6.2.2-1)$$

где $n_\tau = 5,34 + 4/\gamma^2$, причем коэффициент $\gamma = a/b$ должен приниматься большим или равным единице, т. е. за a должна приниматься всегда большая сторона пластины (a и b — в метрах); s — толщина пластины, мм.

Формулой (6.2.2-1) можно пользоваться также при оценке устойчивости подверженных сдвигу пластин корпусов судов с широко раскрытыми палубами при действии расчетного крутящего момента в соответствии с Методикой расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при скручивании.

Нормальные и касательные напряжения при их совместном действии могут быть просуммированы по формуле

$$\sigma_{eq E} = \frac{\sigma_E \sqrt{1+3(\tau/\sigma)^2}}{0,25(1+\psi) + \sqrt{0,0625(3-\psi)^2 + [\tau\sigma_E/(\sigma\tau_E)^2]}}, \quad (6.2.2-2)$$

где σ, τ — действующие в плоскости пластины максимальные нормальные и касательные напряжения; σ_E, τ_E — эйлеровы нормальные и касательные напряжения, определяемые по формулам (6.1) и (6.2.2-1); ψ — см. 6.1.

Приведенное критическое напряжение пластины определяется согласно формулам (5-1) и (5-2).

Условие устойчивости пластины записывается в виде

$$\eta \leq \sigma \sqrt{1+3(\tau/\sigma)^2} / \sigma_{eq cr}, \quad (6.2.2-3)$$

где η — коэффициент запаса в соответствии с разд. 4; $\sigma_{eq cr}$ — приведенное критическое напряжение, определяемое, как указано выше.

6.3 Учет начальной погиби и поперечной нагрузки при оценке устойчивости пластин корпуса

6.3.1 Учет начальной погиби и поперечной нагрузки должен осуществляться только для пластин корпусов судов с поперечной системой набора.

6.3.2 Эйлерово напряжение (МПа) для пластины, имеющей начальную погибь, определяется по формуле

$$\sigma_E = 0,2\xi n_\sigma (s/b)^2, \quad (6.3.2-1)$$

где n_σ — см. разд. 6.1 при $\gamma \leq 1$; s и b — см. разд. 6.1.

Коэффициент ξ вычисляется по формулам:

$$\xi = 1 - f/4 - (4f/5)^2 \quad \text{при } 0 < f \leq 0,5; \quad (6.3.2-2)$$

$$\xi = 1,045 - 0,66f \quad \text{при } 0,5 < f \leq 1, \quad (6.3.2-3)$$

Здесь f — относительная стрелка погиби, т. е. f_1/s , где f_1 — абсолютная стрелка погиби в середине пластины, мм.

6.3.3 Проверка устойчивости пластин, имеющих начальную погибь и несущих равномерно распределенную поперечную нагрузку, производится по формуле

$$\sigma/\sigma_{cr} + \sigma_b/R_{eH} + (\tau/\tau_{cr})^2 \leq \eta, \quad (6.3.3-1)$$

где σ и τ — действующие в плоскости пластины нормальные и касательные напряжения, МПа; σ_{cr} и τ_{cr} — критические нормальные и касательные напряжения, определяемые по формулам (6.3.2-1), (6.2.2-1) и в разд. 5; R_{eH} — предел текучести материала, МПа; σ_b — напряжения от изгиба при действии равномерно распределенной поперечной нагрузки интенсивностью q .

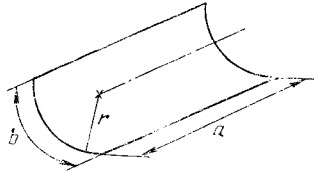


Рис. 6.4.1

Для пластин, нагруженных гидростатическим давлением, q (МПа) определяется по формуле

$$q = 10^{-2}h, \quad (6.3.3-2)$$

где h — расстояние от летней грузовой ватерлинии до рассматриваемой пластины, м.

Напряжения от изгиба σ_b под действием нагрузки q должны определяться для балки-полоски единичной ширины длиной a , нагруженной равномерно распределенной нагрузкой q , МН/м; концы балки-полоски предполагаются жестко защемленными, а соответствующие изгибающие моменты (Н·м) для вычисления σ_b определяются для концов балки-полоски по формуле

$$M_b = 8,33 \cdot 10^4 q a^2. \quad (6.3.3-3)$$

6.4 Проверка устойчивости скулового пояса, подкрепленного поперечными ребрами

6.4.1 Осевое эйлерово напряжение (МПа) определяется по формулам:

$$\sigma_{E_{ax}} = 127K(s/b)^2 \text{ при } a > r\pi/2; \quad (6.4.1-1)$$

$$\sigma_{E_{ax}} = 127K(s/a)^2 \text{ при } a \leq r\pi/2; \quad (6.4.1-2)$$

где K — коэффициент, определяемый по формуле

$$K = b^2/(rs). \quad (6.4.1-3)$$

Здесь s , r , a , b — соответственно толщина, мм, радиус, длина (расстояние между поперечными ребрами), ширина пластины, м (рис. 6.4.1).

Критическое осевое напряжение σ_{crax} определяется с учетом разд. 5.

6.4.2 Теоретическое критическое поперечное давление (МПа) определяется по формуле

$$q_E = \frac{0,183(s/10r)^{1,5} \cdot s}{a - 6,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{10sr}}. \quad (6.4.2)$$

6.4.3 Теоретическое эйлерово напряжение (МПа) в меридиональном сечении оболочки определяется по выражению

$$\sigma_{EM} = 665 q_E r / s. \quad (6.4.3)$$

Критическое эйлерово напряжение σ_{crM} определяется в соответствии с разд. 5.

6.4.4 Действительное критическое давление (МПа) определяется по формуле

$$q_{cr} = 1,5 \cdot 10^{-3} \sigma_{EM} s / r. \quad (6.4.4)$$

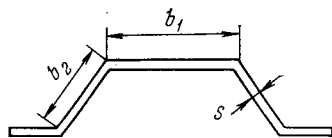


Рис. 7.1

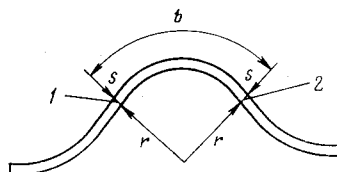


Рис. 7.2:
1, 2 — точки перегиба

6.4.5 Приведенное критическое напряжение (МПа) пластины скулового пояса определяется по выражению

$$\sigma_{eq cr} = \sigma_{cr ax} \sqrt{1 - q / q_{cr}}, \quad (6.4.5)$$

где $\sigma_{cr ax}$ — критическое осевое напряжение, определяемое по 6.4.1 и разд. 5; q — среднее действующее по поверхности скулового пояса поперечное давление, МПа. q может быть определено по формуле (6.3.3-2); q_{cr} — см. 6.4.4.

6.4.6 Запас устойчивости скулового пояса определяется в соответствии с формулой

$$\eta = \sigma_c^H / \sigma_{eq cr}, \quad (6.4.6)$$

где σ_c^H — действующее сжимающее напряжение, определяемое уравнением (2.3.2). Значение коэффициента запаса приводится в разд. 4.

6.4.7 Оценка устойчивости скулового пояса, подкрепленного продольными балками, может не производиться.

7. Оценка устойчивости элементов гофрированных конструкций

7.1 Эйлеровы напряжения (МПа) для гофрированной конструкции (рис. 7.1) определяются по формуле

$$\sigma_E = 0,8 (s/b)^2, \quad (7.1)$$

где s — толщина гофра, мм; b — больший из размеров b_1 или b_2 , м.

7.2 Эйлеровы напряжения для гофрированной конструкции (рис. 7.2) определяются по формуле (6.4.1-1).

7.3 Суммарные напряжения от изгиба и сжатия не должны превосходить критических с учетом коэффициента запаса:

$$\sigma_b + \sigma_c \leq \sigma_{cr} \eta, \quad (7.3)$$

где σ_b — напряжения от изгиба при действии нагрузок в соответствии с 2.12.5.1 ч. II «Корпус» Правил или нагрузок, определяемых прямым расчетом; σ_c — сжимающие напряжения; σ_{cr} — критическое напряжение гофрированной конструкции согласно формулам (5-1) и (5-2). Эйлерово напряжение для коробчатых гофров определяется по формуле (7.1), а для волнистых — по формуле (6.4.1-1).

Примечания: 1. Для случая общего продольного изгиба продольной переборки с горизонтальными гофрами напряжения σ_c могут быть определены по формулам (2.3.1) и (2.3.2).

2. Для случая поперечной гофрированной переборки с вертикальными гофрами σ_c могут быть определены согласно 2.6 ч. II «Корпус» Правил либо прямым расчетом.

8. Проверка изгибной устойчивости продольных балок

8.1 Эйлерово напряжение (МПа) продольных балок определяется по формуле

$$\sigma_E = 203I / (Sl^2), \quad (8.1)$$

где I — момент инерции поперечного сечения балки с присоединенным пояском, см⁴; S — площадь поперечного сечения продольной балки с присоединенным пояском, см²; l — пролет продольной балки (расстояние между рамными шпангоутами или между рамным шпангоутом и переборкой), м.

Присоединенный поясok при определении I и S должен иметь ширину, определяемую в разд. 3.

8.2 Устойчивость продольных балок проверяется по формуле

$$\sigma_c / \sigma_{cr} + \frac{M + 10^{-6} \sigma_c S' f}{10^{-6} W R_{eH}} \leq \eta, \quad (8.2)$$

где σ_c — действующие сжимающие напряжения, МПа. Для случая общего продольного изгиба они определяются формулами (2.3.1) или (2.3.2); σ_{cr} — критическое напряжение продольной балки, определяемое по формуле (8.1) с учетом выражений (5-1) и (5-2); M — изгибающий момент от поперечной нагрузки, МН·м; S' — площадь поперечного сечения балки с присоединенным пояском шириной, определяемой в 1.2.6 ч. II «Корпус» Правил; f — максимальная величина погиби, вызванной поперечной нагрузкой, в пролете балки, см; W — момент сопротивления поперечного сечения балки с присоединенным пояском, см³. При определении ширины присоединенного пояса в этом случае необходимо руководствоваться требованиями 1.2.6 ч. II «Корпус» Правил; R_{eH} — предел текучести материала, МПа; η — коэффициент запаса в соответствии с разд. 4 настоящей Методики.

8.3 В предельном случае (при появлении пластических шарниров в пролете и у опор балки) устойчивость должна проверяться по формуле

$$\sigma_c / \sigma_{cr} + 10^6 M_{plast} / (W_{plast} R_{eH}) \leq \eta, \quad (8.3)$$

где M_{plast} — максимальный по длине балки изгибающий момент, вызывающий появление пластических шарниров в пролете балки или у опор (в зависимости от граничных условий), МН·м; W_{plast} — пластический момент сопротивления поперечного сечения балки с присоединенным пояском, определяемый как удвоенный статический момент половины площади сечения относительно оси, проходящей через центр масс сечения, см³. Ширина присоединенного пояска определяется по 8.2.

9. Изгибно-крутильная устойчивость продольных балок

9.1 Изгибно-крутильное эйлерово напряжение (МПа) продольных балок определяется по формуле

$$\sigma_E = \frac{2,1 \cdot 10^6}{I_p} \left(\frac{I_d}{26} + \frac{10^{-4} I_y h^2}{I^2} \right) \chi(\alpha), \quad (9.1-1)$$

где I_p — полярный момент инерции поперечного сечения продольной балки (см⁴) относительно точки 0 (рис. 9.1-1 и 9.1-2), определяемый по формуле

$$I_p = I_x + I_y + S y_c^2, \quad (9.1-2)$$

где I_x, I_y — моменты инерции поперечного сечения продольной балки относительно главной оси $x-x$ и $y-y$ соответственно, см⁴; S — площадь поперечных сечений продольной балки, см²; y_c — расстояние от поддерживаемой балкой пластины до главной оси $x-x$, см.

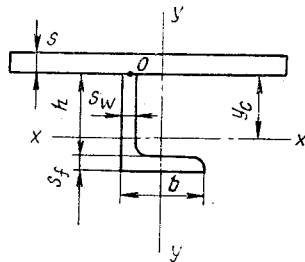


Рис. 9.1-1

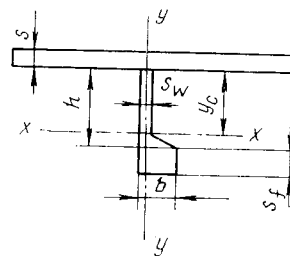


Рис. 9.1-2:

s_f — средняя толщина бульбы

Момент инерции поперечного сечения продольной балки при чистом кручении (I_d , см⁴) определяется по формуле

$$I_d = (h s_w^2 + b s_f^3) / 3; \quad (9.1-3)$$

h, s_w, b, s_f — см. рис. 9.1-1 и 9.1-2, см;

l — пролет продольной балки (расстояние между рамными шпангоутами или между рамным шпангоутом и переборкой), м. Коэффициент α определяется по формуле

$$\alpha = 5 \cdot 10^4 (s_w/s)^3 a / [h(1 - \sigma_E/\sigma_E)]. \quad (9.1-4)$$

Здесь s — толщина пластины, поддерживаемой продольной балкой, мм; a — расстояние между продольными балками, м; σ_E — эйлерово напряжение, определяемое по формуле (9.1-1) при $\kappa(\alpha) = 1$, МПа; σ_E — эйлерово напряжение пластины шириной a , поддерживаемой продольной балкой, определяемое по формуле (6.1) при n_s , определяемом в 6.1, МПа; $\kappa(\alpha)$ — коэффициент, зависящий от характера соединения балки с пластиной, определяемый по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \alpha < 0 \quad \kappa(\alpha) &= 1; \\ \text{при } 0 \leq \alpha \leq 0,2 \quad \kappa(\alpha) &= -8,5\alpha + 4; \\ \text{при } 0,2 < \alpha \leq 1,0 \quad \kappa(\alpha) &= 2,3\alpha^2 - 3,9\alpha + 3; \\ \text{при } \alpha > 1,0 \quad \kappa(\alpha) &= -0,0075\alpha + 1,4075, \end{aligned} \right\} \quad (9.1-5)$$

причем во всех случаях должно соблюдаться условие $\kappa(\alpha) \geq 1$.

Примечания: 1. I_x , I_y , S , а также положение главных осей $x-x$ и $y-y$ определяются без учета присоединенного пояска продольной балки.

2. При использовании формулы (9.1-3) для балок таврового профиля в качестве b используется полная ширина присоединенного пояска.

9.2 Запас устойчивости определяется по формуле

$$\eta = \sigma_c / \sigma_{cr}, \quad (9.2)$$

где σ_c — действующее сжимающее напряжение; в случае общего продольного изгиба оно определяется по формулам (2.3.1) и (2.3.2), σ_{cr} — критическое напряжение балки, определяемое по формуле (9.1-1) с учетом разд. 5.

9.3 Если продольные балки изготовлены из полосового профиля, эйлеровы напряжения (МПа) таких балок в отношении изгибно-крутильной формы потери устойчивости определяются по формуле

$$\sigma_E = 825 (s_w/h)^2 \kappa(\alpha), \quad (9.3)$$

где s_w , h — соответственно толщина, мм, и высота, см, полосы; $\kappa(\alpha)$ — коэффициент, определяемый по формулам (9.1-5).

Запас устойчивости полосовых профилей определяется по формуле (9.2).

10. Устойчивость свободного пояска продольной балки

10.1 Эйлерово напряжение (МПа) свободного пояска определяется выражением

$$\sigma_F = 825 (s_f / b_f)^2, \quad (10)$$

где s_f — толщина, мм; b_f — ширина свободного пояска продольной балки (см. рис. 9.1-1), см. При этом b_f принимается равной полной ширине пояска для углового и половине ширины для таврового профиля.

11. Проверка устойчивости пиллерсов, распорных бимсов в форпике и распорок бортовых танков наливных судов

11.1 Эйлеровы напряжения (МПа) пиллерсов, распорных бимсов и распорок бортовых танков определяются по выражению

$$\sigma_E = 203 (i/l)^2. \quad (11.1-1)$$

Здесь i — наименьший радиус инерции поперечного сечения пиллерса (распорного бимса, распорки), см.:

$$i = \sqrt{I/S}, \quad (11.1-2)$$

где I , S — соответственно наименьшее значение момента инерции, см⁴, и площадь поперечного сечения пиллерса (распорного бимса, распорки), см². Длина l пиллерса (распорного бимса, распорки), м; определяется согласно 2.8.1.1, 2.11.2.4 и 3.6.9 ч. II «Корпус» Правил.

11.2 Площадь поперечного сечения пиллерсов (см²), распорных бимсов в форпике и распорок бортовых танков наливных судов должна удовлетворять условию

$$S \geq \frac{17P(1+l/i)}{\sigma_{cr}}, \quad (11.2)$$

где P — сжимающая сила, кН, определяемая: для пиллерсов — как указано в 2.8.1.1 ч. II «Корпус» Правил; для распорных бимсов в форпике — путем определения гидростатического и гидродинамического давления, действующего на участок борта, поддерживаемый распорным бимсом; для распорок бортовых танков — как указано в 3.6.9 ч. II «Корпус» Правил; σ_{cr} — критическое напряжение бимса, пиллерса или распорки, определяемое по формуле (11.1-1) с учетом разд. 5.

12. Устойчивость пластин, подкрепленных равноотстоящими одинаковыми ребрами (панелями)

12.1 Панели, сжатые вдоль ребер (рис. 12.1).

Эйлеровы напряжения (МПа) пластины определяются по формуле

$$\sigma_E = \frac{\sigma_E}{\gamma^2 \mu} \frac{(l + \gamma^2)^2 + (k+1)\epsilon}{l + (k+1)v}, \quad (12.1)$$

где σ_E — эйлеровы напряжения для пластины, определяемые в 6,1; $\mu=4$ при $\gamma=a/b \geq 1$, $\mu=(\gamma+1/\gamma)^2$ при $\gamma < 1$; k — число подкрепляющих пластину ребер; $\varepsilon=110I/(bs^3)$ (где I — момент инерции поперечного сечения одного ребра жесткости относительно плоскости соединения ребра с пластиной, см^4); b, s — соответст-

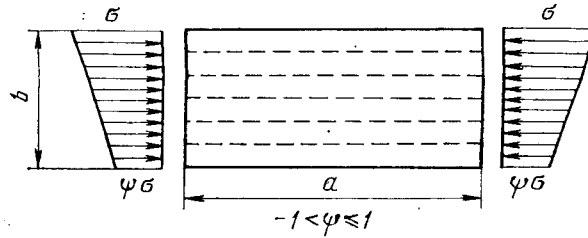


Рис. 12.1

венно ширина, м, и толщина, мм, пластины; $\nu=0,1S/(bs)$; S — площадь поперечного сечения одного ребра, см^2 .

12.2 Панели, сжатые поперек ребер (рис. 12.2-1).

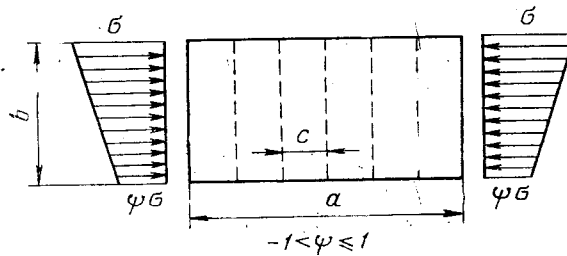


Рис. 12.2-1

Эйлеровы напряжения (МПа) пластины определяются по формуле

$$\sigma_E = \sigma'_E \omega \frac{(\gamma_1 + 1/\gamma_1)^2}{\mu}, \quad (12.2)$$

где ω — коэффициент, определяемый по графику рис. 12.2-2 в зависимости от значений $\gamma_1=c/b$ (c и b — в метрах, см. рис. 12.2-1) и $\varphi=\gamma_1^3\varepsilon$; ε — см. 12.1; при $\varphi \geq 0,40$ принимается $\omega=1$.

12.3 Панели при действии равномерного сдвига по всем краям (рис. 12.3).

Эйлеровы касательные напряжения (МПа) панели определяются по формуле

$$\tau_E = K_1 K_2 0,2(s/b)^2, \quad (12.3-1)$$

где

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 1,65\varepsilon/\gamma + 10,5 \text{ при } \varepsilon \leq 30 \text{ и } \gamma \geq 1; \\ K_1 &= 0,9\varepsilon + 36/\gamma^{3,5} \text{ при } \varepsilon \geq 50 \text{ и } \gamma \geq 1. \end{aligned} \right\} \quad (12.3-2)$$

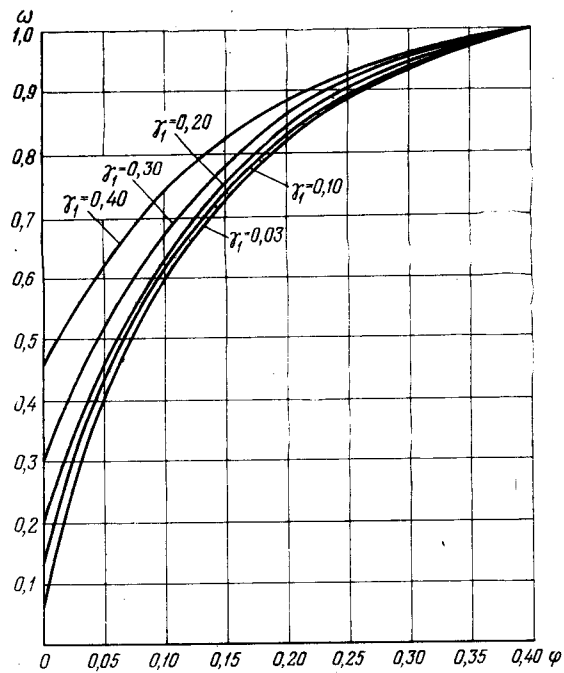


Рис. 12.2-2

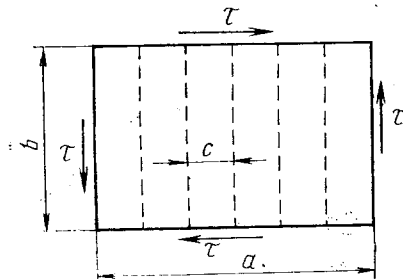


Рис. 12.3

Для $30 < \varepsilon < 50$ значения K_1 определяются линейной интерполяцией. В случае $\gamma = a/b < 1$ значения K_1 определяются, как для $\gamma = 1$;

$$\left. \begin{aligned} K_2 &= 0,75 + 0,25/\gamma^2 \text{ при } \gamma < 1; \\ K_2 &= 1 \text{ при } \gamma \geq 1. \end{aligned} \right\} \quad (12.3-3)$$

ε — см. 12.1.

Примечания: 1. Метод определения эйлеровых напряжений, изложенный в 12.1.—12.3, пригоден, если число подкрепляющих одинаковых ребер не менее трех.

2. Значения площади S и момента инерции I поперечного сечения ребер вычисляются без учета присоединенного пояска.

12.4 Если пластина подвержена действию только одной нагрузки, то должно быть обеспечено выполнение условия

$$\sigma_i \leq \eta \sigma_{cri} \quad (12.4-1)$$

где σ_i — действующие (нормальные или касательные) напряжения; η — коэффициент запаса в соответствии с разд. 4; σ_{cri} — нормальные или касательные критические напряжения, вычисляемые по одной из формул: (12.1), (12.2) или (12.3-1) с учетом разд. 5.

Если пластина испытывает действие нескольких нагрузок одновременно (вдоль ребер — σ_1 , поперек ребер — σ_2 , сдвига — τ), устойчивость пластины обеспечена при выполнении условия

$$I \geq a^2 (5,9 \cdot 10^{-3} S_1 \sigma_1 + 6,5 \cdot 10^{-2} c a^2 \sigma_2^2 / s + 0,26 c^3 \tau^2 / s) / \eta, \quad (12.4-2)$$

где I — момент инерции поперечного сечения ребра, подкрепляющего пластину, определяемый, как указано в 12.1 и 12.3, см⁴; a — длина кромки пластины, параллельной подкрепляющим ребрам, м; η — коэффициент запаса в соответствии с разд. 4; S_1 — площадь поперечного сечения ребра с присоединенным пояском, см²; c — расстояние между ребрами, м; s — толщина пластины, мм.

13. Устойчивость перекрытий¹

13.1 Перекрытия при поперечной системе набора

13.1.1 В данном разделе рассматриваются расчетные схемы, приведенные на рис. 13.1.1-1 и 13.1.1-2.

13.1.2 Эйлеровы напряжения (МПа) перекрытий, изображенных на рис. 13.1.1-1 и 13.1.1-2, могут быть определены по формуле

$$\sigma_{E1} = \sigma_E \lambda, \quad (13.1.2-1)$$

где σ_E — эйлерово напряжение, определяемое по формуле (6.1). При этом входящая в указанную формулу толщина пластины s принимается средней между фактическими ее значениями.

Вместо величины b в формулу (6.1) подставляется B_1 (см. рис. 13.1.1-1) или h (см. рис. 13.1.1-2), в качестве γ используются отношения a/B_1 или a/h соответственно. Значение ψ из 6.1 для перекрытия, изображенного на рис. 13.1.1-2, должно определяться по выражению

$$\psi = 1 - h/z_d, \quad (13.1.2-2)$$

где h — см. рис. 13.1.1-2, м; z_d — отстояние теоретической линии верхней палубы от горизонтальной нейтральной оси поперечного сечения корпуса, м.

Параметр λ определяется по формуле

$$\lambda = (0,212 + 1,05/\sqrt{\chi} + 0,265/\chi)^{-1}, \quad (13.1.2-3)$$

где χ — коэффициент, определяемый из выражений:

¹ Предполагается, что перекрытия образованы листами обшивки палуб и бортов, рамными связями и эквидистантными и одинаковыми балками основного набора.

для перекрытия на рис. 13.1.1-1

$$\chi = 1000 (\mu/\pi)^4 (a/B_1)^3 I_b / (B_1 s^3); \quad (13.1.2-4)$$

для перекрытия на рис. 13.1.1-2

$$\chi = 1000 (\mu/\pi)^4 (a/h)^3 I_{fr} / (hs^3). \quad (13.1.2-5)$$

$$\text{Здесь } \mu = \pi + 0,79 (\kappa_1^2 + \kappa_2^2); \quad (13.1.2-6)$$

κ_i — коэффициенты заделки опорных сечений, определяемые по следующим выражениям:

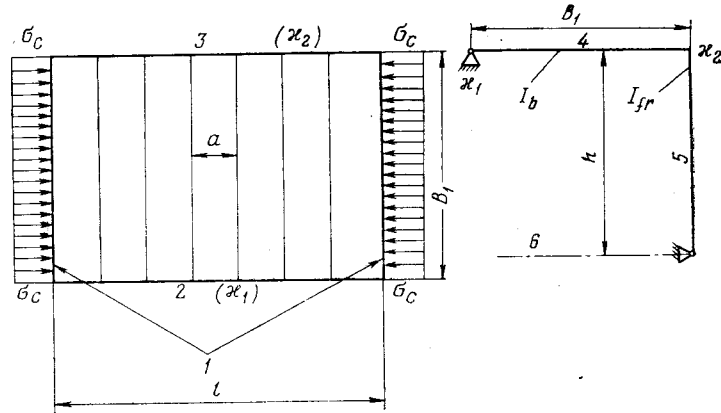


Рис. 13.1.1-1. Перекрытие верхней палубы, опертая на поперечные переборки, борт и комингс грузового люка:
1 — поперечные переборки; 2 — комингс; 3, 5 — борт; 4 — верхняя палуба; 6 — вторая палуба

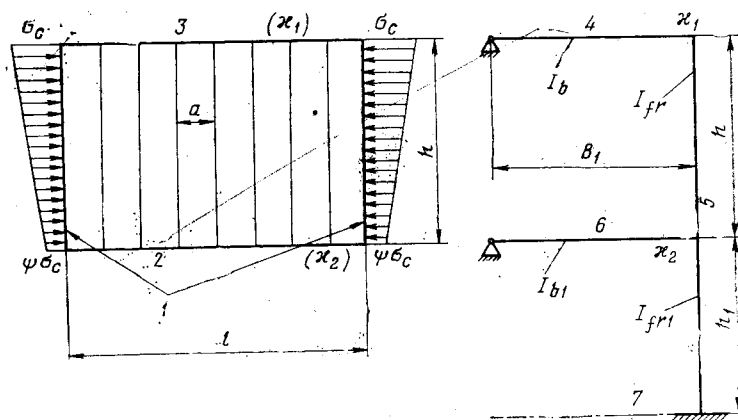


Рис. 13.1.1-2. Перекрытие борта, опертая на поперечные переборки, верхнюю и вторую палубы:
1 — поперечные переборки; 2, 6 — вторая палуба; 3, 4 — верхняя палуба; 5 — борт; 7 — второе дно

для перекрытия, изображенного на рис. 13.1.1-1:

$$\left. \begin{array}{l} \text{у комингса грузового люка } \kappa_1 = 0; \\ \text{у борта } \kappa_2 = [1 + 2I_b h / (3I_{fr} B_1)]^{-1}, \end{array} \right\} (13.1.2-7)$$

где I_b , I_{fr} — моменты инерции поперечных сечений бимса и шпангоута соответственно, см⁴, с присоединенными поясками шириной, равной шпации a ; B_1 , h , a — см. рис. 13.1.1-1, м;

для перекрытия, изображенного на рис. 13.1.1-2:

$$\left. \begin{array}{l} \text{у верхней палубы при системе набора:} \\ \quad \text{продольной } \kappa_1 = 0; \\ \quad \text{поперечной } \kappa_1 = [1 + 2I_{fr} B_1 / (3I_b h)]^{-1}; \\ \text{у второй палубы при системе набора:} \\ \quad \text{продольной } \kappa_2 = [1 + 0,5I_{fr} h_1 / (I_{fr_1} h)]^{-1}; \\ \quad \text{поперечной } \kappa_2 = \{1 + 0,667[I_{fr} B_1 / (I_{b_1} h) + \\ \quad + 0,75I_{fr} h_1 / (I_{fr_1} h)]\}^{-1}, \end{array} \right\} (13.1.2-8)$$

где h_1 — см. рис. 13.1.1-2, м; I_{fr_1} — момент инерции поперечного сечения трюмного шпангоута (между второй палубой и настилом второго дна) с присоединенным пояском шириной a , см⁴; I_{b_1} — момент инерции поперечного сечения бимса второй палубы с присоединенным пояском шириной a при поперечной и не более $B_1/6$ — при продольной системе набора палубы, см⁴.

Если параметр λ , определяемый по формуле (13.1.2-3), окажется равным или большим единицы, то жесткость бимсов (см. рис. 13.1.1-1) или шпангоутов (см. рис. 13.1.1-2) равна или превышает критическую и устойчивость пластины перекрытия определяется устойчивостью одного ее поля в пределах шпации a . Критическая жесткость бимсов или шпангоутов соответствует следующим значениям моментов инерции их поперечных сечений, см⁴:

для перекрытия в соответствии с рис. 13.1.1-1

$$I_{b\ cr} = 0,357B_1^4 s^3 / (\mu^4 a^3); \quad (13.1.2-9)$$

для перекрытия в соответствии с рис. 13.1.1-2

$$I_{fr\ cr} = 0,357h^4 s^3 / (\mu^4 a^3). \quad (13.1.2-10)$$

Критическое напряжение перекрытия определяется в соответствии с формулами (5-1) и (5-2). Значение коэффициента запаса устойчивости приведено в разд. 4.

13.2 Перекрытия при продольной системе набора

13.2.1 В данном разделе рассматриваются расчетные схемы, приведенные на рис. 13.2.1-1—13.2.1-5.

13.2.2 Оценка устойчивости перекрытий, изображенных на рис. 13.2.1-1, 13.2.1-2, 13.2.1-3, б, 13.2.1-4, б и 13.2.1-5, б (карлингсы рассматриваются как абсолютно жесткие опоры для рамных бимсов).

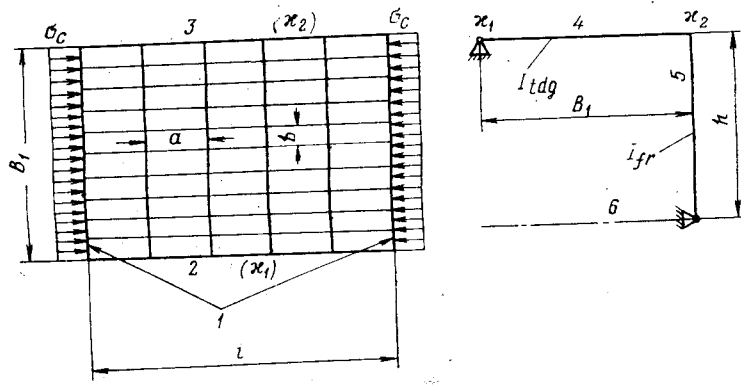


Рис. 13.2.1-1. Перекрытие верхней палубы, опертое на поперечные переборки, борт и комингс грузового люка:
 1 — поперечные переборки; 2 — комингс грузового люка; 3, 5 — борт;
 4 — верхняя палуба; 6 — вторая палуба

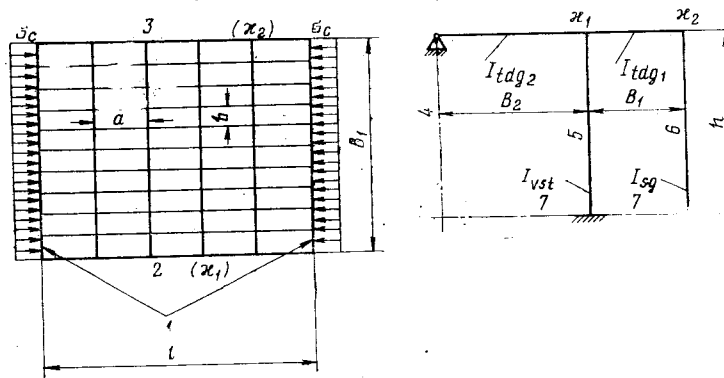


Рис. 13.2.1-2. Перекрытие верхней палубы, опертое на поперечные переборки, борт и продольную переборку:
 1 — поперечные переборки; 2, 4, 5 — продольные переборки; 3, 6 — борт;
 7 — второе дно

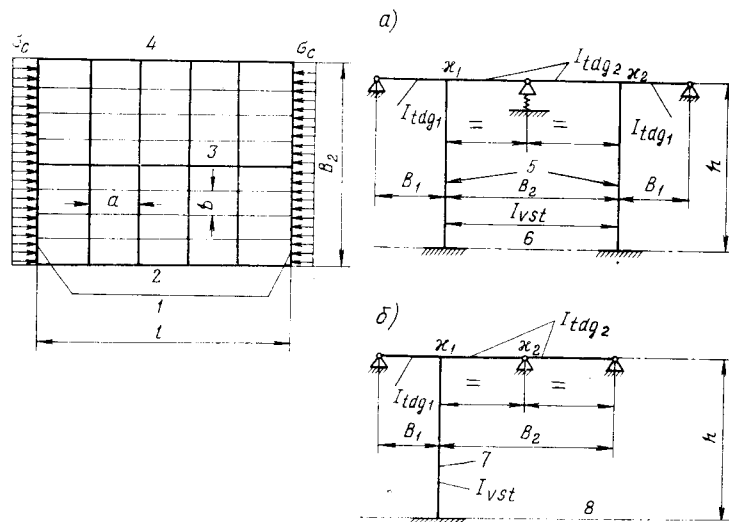


Рис. 13.2.1-3. Перекрытие верхней палубы, опертое на поперечные и продольные переборки и имеющее карлингс в диаметральной плоскости:

а) случай, когда устойчивость перекрытия определяется устойчивостью карлингса как балки, упруго опертой на рамные бимсы; б) случай, когда устойчивость перекрытия рассматривается в предположении, что карлингс является абсолютно жесткой опорой для рамных бимсов:
 1 — поперечные переборки; 2, 4, 5, 7 — продольные переборки; 3 — карлингс; 6, 8 — второе дно

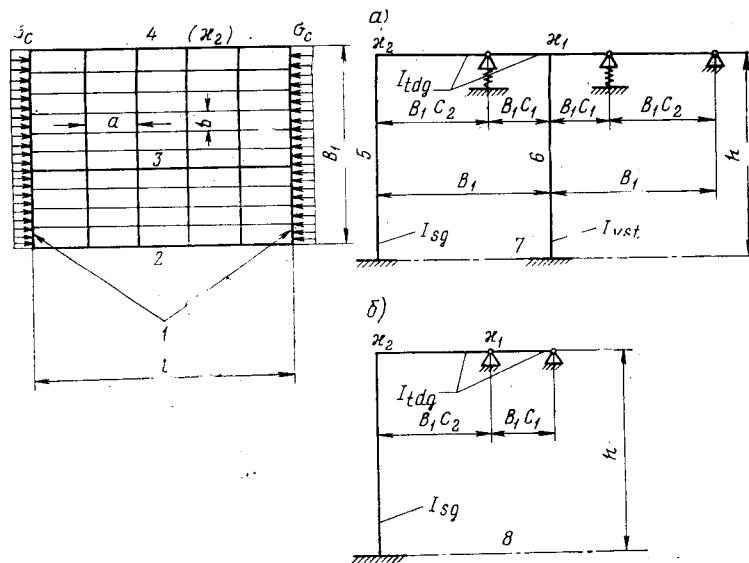


Рис. 13.2.1-4. Перекрытие верхней палубы, опертое на поперечные переборки, двойной борт, продольную переборку в диаметральной плоскости и нмеющее карлингс, разделяющий перекрытие на две неравные части:

а) случай, когда устойчивость перекрытия определяется устойчивостью карлингса как балки, находящейся на упругих опорах, образуемых рамными бимсами; б) случай, когда устойчивость перекрытия рассматривается в предположении, что карлингс является абсолютно жесткой опорой для рамных бимсов:
 1 — поперечные переборки; 2, 6 — продольная переборка; 3 — карлингс;
 4, 5 — борт; 7, 8 — второе дно

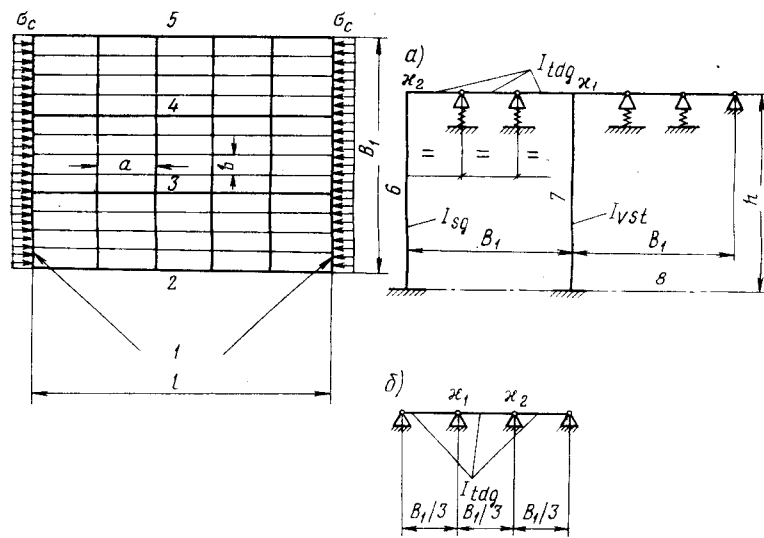


Рис. 13.2.1-5. Перекрытие, опертое на поперечные переборки, борт (двойной), продольную переборку в диаметральной плоскости и имеющее два карлингса, разделяющих перекрытие на три равные части:

а) случай, когда устойчивость перекрытия определяется устойчивостью карлингсов как балок, находящихся на упругих опорах, образуемых рамными бимсами; б) случай, когда карлингсы предполагаются абсолютно жесткими опорами для бимсов:

1 — поперечные переборки; 2, 7 — продольные переборки; 3, 4 — карлингс; 5, 6 — борт; 8 — второе дно

13.2.2.1 Критическое напряжение перекрытия (МПа) определяется по формуле

$$\sigma_{cr} = \sigma_c \eta, \quad (13.2.2.1)$$

где σ_c — действующие в корпусе сжимающие напряжения при общем изгибе, определяемые по формуле (2.3.1); η — коэффициент запаса устойчивости, принимающий значения не более указанного в разд. 4.

Принимается, что критические напряжения перекрытия всегда соответствуют формуле (5-2).

13.2.2.2 Для первого этапа расчетов по оценке устойчивости перекрытий используются зависимости, выражающие соотношения: между критическими и соответствующими им эйлеровыми напряжениями

$$\varphi = 4\sigma_c [1 - \sigma_c / (\eta R_{eH})] / (\eta R_{eH}); \quad (13.2.2.2-1)$$

между критическим напряжением перекрытия, параметром φ и эйлеровым напряжением продольных балок в предположении свободного опирания последних на рамные бимсы как абсолютно жесткие опоры

$$\lambda' = R_{eH} \{ (4\sigma_c / (\eta R_{eH})) [1 - \sigma_c / (\eta R_{eH})] \}, \quad (13.2.2.2-2)$$

где σ_E — эйлерово напряжение продольных балок, определяемое по формуле (8.1).

Если в формулу (13.2.2.2) вместо σ_c/η подставить критическое напряжение продольных балок, соответствующее их эйлерову напряжению по формуле (5-2), параметр λ' становится равным единице, что соответствует критической жесткости рамных бимсов. Значение критического момента инерции последних (см^4) выражается формулой

$$I_{dg\ cr} = (\pi/\mu)^4 (B_1/a)^3 (B_1/b) I R_2 |_{\lambda'=1} \varphi, \quad (13.2.2.3)$$

где B_1 — ширина перекрытия (в соответствии с расчетными схемами 13.2.1 может приниматься равной B_2 , $B_2/2$, $B_1 C_2$, $B_1/3$ и т. п.), м; a , b — соответственно расстояние между рамными бимсами и продольными балками, м; I — момент инерции поперечного сечения продольной балки, определяемый, как указано в разд. 8; φ — коэффициент по формуле (13.2.2.1); причем σ_c/η должно приниматься равным критическому напряжению продольных балок по формуле (5-2) в зависимости от их эйлерова напряжения; $R_2 |_{\lambda'=1}$ — параметр, определяемый последним из соотношений (13.2.2.3-3) при $\lambda'=1$ (см. ниже).

Коэффициент μ определяется по формуле (13.1.2-6); при этом входящие в правую часть формулы коэффициенты заделок κ_1 и κ_2 определяются следующими соотношениями:

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-1:

$$\left. \begin{aligned} &\text{у комингса грузового люка } \kappa_1 = 0; \\ &\text{у борта } \kappa_2 = [1 + 2I_{dg}h / (3I_{fr} B_1)]^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (13.2.2.4)$$

где I_{dg} — момент инерции поперечного сечения рамного бимса с присоединенным пояском шириной не более $B_1/6$, см^4 ; I_{fr} — момент инерции поперечного сечения обыкновенного или рамного шпангоута с присоединенным пояском обшивки шириной, равной шпации при поперечной системе набора борта и не менее $h/6$ при продольной системе, см^4 ;

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-2:

$$\left. \begin{aligned} &\text{у продольной переборки } \kappa_1 = \\ &= [1 + (2/3) \{ I_{tg_1} B_2 / (I_{dg_2} B_1) + 3I_{dg_1} h / (4I_{vst} B_1) \}]^{-1}; \\ &\text{у борта } \kappa_2 = [1 + I_{dg_1} h / (2I_{sg} B_1)]^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (13.2.2.5)$$

где I_{tg_1} , I_{tg_2} — моменты инерции поперечного сечения рамных бимсов на участках между бортом и продольной переборкой и между продольными переборками с присоединенным пояском шириной не менее $B_1/6$ и $B_2/6$ соответственно, см^4 ; I_{vst} , I_{sg} — моменты инерции поперечного сечения соответственно рамной стойки продольной переборки и рамного шпангоута с присоединенными поясками обшивки шириной не менее $h/6$, см^4 ;

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-3, б:

$$\left. \begin{aligned} & \text{у продольной переборки } \kappa_1 = \\ & = \{1 + (4/3) [I_{tdg_2} B_1 / (I_{tdg_1} B_2) + 3I_{tdg_2} h / (4I_{vst} B_2)]\}^{-1}; \\ & \text{у карлингса } \kappa_2 = 0,6; \end{aligned} \right\} \quad (13.2.2.2-6)$$

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-4, б:

$$\left. \begin{aligned} & \text{у карлингса } \kappa_1 = [1 + 2C_1 / (3C_2)]^{-1}; \\ & \text{у борта } \kappa_2 = [5/3 + I_{tdg} h / (2I_{sg} B_1 C_2)]^{-1}; \end{aligned} \right\} \quad (13.2.2.2-7)$$

где I_{tdg} — момент инерции поперечного сечения рамного бимса с присоединенным пояском шириной не менее $B_1 C_2 / 6$, см⁴; I_{sg} — момент инерции поперечного сечения рамного шпангоута с присоединенным пояском [см. пояснения к формуле (13.2.2.2-5)], см⁴;

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-5, б у карлингсов

$$\kappa_1 = \kappa_2 = 0; \quad (13.2.2.2-8)$$

B_1, B_2, h, C_1 и C_2 — см. расчетные схемы 13.2.1.

13.2.2.3 Если действительная жесткость рамных бимсов будет равна или больше критической, устойчивость перекрытия будет определяться устойчивостью продольных балок в предположении, что последние свободно оперты на рамные бимсы как абсолютно жесткие опоры — см. формулу (8.1). Критическое напряжение перекрытия будет определяться по формуле (5-2) в зависимости от эйлерова напряжения продольных балок. Запас устойчивости перекрытия определится при этом как

$$\eta = \sigma_c / \sigma_{cr}^2 \quad (13.2.2.3-1)$$

где σ_c — действующие в корпусе сжимающие напряжения по формуле (2.3.1); σ_{cr} — критическое напряжение продольных балок, определяемое, как указано выше.

Если действительная жесткость рамных бимсов окажется меньше критической, условие устойчивости перекрытия определяется соотношением двух параметров — $R_1(\lambda')$ и $R_2(\lambda')$, вычисляемых по формулам:

$$R_1(\lambda') = I_{tdg} / [(\pi/\mu)^4 (B_1/a)^3 (B_1/b) I\phi], \quad (13.2.2.3-2)$$

где I_{tdg} — момент инерции поперечного сечения рамного бимса (может быть I_{tdg_1} или I_{tdg_2} по принятым в 13.2.1 обозначениям) с присоединенным пояском, определяемым согласно 13.2.2.2, см⁴; μ, ϕ — коэффициенты по формулам (13.1.2-6) и (13.2.2.2-1) соответственно; остальные обозначения — см. формулу (13.2.2.2-3);

$$\begin{aligned}
 R_2(\lambda') &= [0,326(\lambda'-0,2)^{1,5} + 0,0106] \delta \text{ при } 0,2 < \lambda' \leq 0,5; \\
 R_2(\lambda') &= [0,336(\lambda'-0,5)^2 + 0,261(\lambda'-0,5) + \\
 &\quad + 0,064] \delta \text{ при } 0,5 < \lambda' \leq 0,8; \\
 R_2(\lambda') &= [5,15(\lambda'-0,8)^2 + 0,121(\lambda'-0,8) + \\
 &\quad + 0,1744] \delta \text{ при } 0,8 < \lambda' \leq 1,
 \end{aligned}
 \quad (13.2.2.3-3)$$

где λ' — параметр по формуле (13.2.2.2-2); δ — коэффициент, определяемый как

$$\delta = 0,02K + 0,84 \leq 1. \quad (13.2.2.3-4)$$

Здесь K — число рамных бимсов (не менее четырех) при условии их равномерного распределения по длине перекрытия и одинаковой жесткости.

Если при данном значении сжимающего напряжения в корпусе σ_c и принятом коэффициенте запаса устойчивости η ($\eta = 0,8$) соблюдается условие $R_1(\lambda') > R_2(\lambda')$, действительное значение коэффициента запаса устойчивости будет меньше принятого и соответственно действительное значение критического напряжения перекрытия будет больше принятых значений. Поэтому устойчивость перекрытий можно считать достаточной. Тем не менее для перекрытий с карлингсами необходимо знать действительное значение критического напряжения перекрытия для того, чтобы сопоставить его с критическим напряжением карлингса (см. 13.2.3). Действительное значение критического напряжения перекрытия может быть определено подбором значений η и σ_{cr} при данном σ . Конечной целью этого процесса является обеспечение выполнения условия $R_1(\lambda') = R_2(\lambda')$. При этом в процессе приближений всегда будет соблюдаться неравенство $\lambda' < 1$.

Если при данном значении сжимающего напряжения σ_c и принятом коэффициенте запаса устойчивости $R_1(\lambda') < R_2(\lambda')$ действительное значение коэффициента запаса устойчивости будет больше принятого, соответственно и действительное значение критического напряжения будет меньше принятых значений. Поэтому необходимо, варьируя значениями величин, входящих в формулу (13.2.2.3-2), добиться выполнения условия $R_1(\lambda') > R_2(\lambda')$.

13.2.3 Оценка устойчивости перекрытий, изображенных на рис. 13.2.1-3, а, 13.2.1-4, а и 13.2.1-5, а (устойчивость перекрытий определяется устойчивостью карлингсов как балок на упругих основаниях, создаваемых рамными бимсами).

13.2.3.1 При оценке устойчивости перекрытий в соответствии с указанными рисунками необходимо выполнить расчеты в следующей последовательности:

определить критическое напряжение перекрытия σ_{cr} , как указано в 13.2.2, для одного из участков: между карлингсом и бортом, между карлингсом и продольной переборкой или между карлингсами (при наличии двух карлингсов и более); карлингсы при этом предполагаются абсолютно жесткими опорами для рамных бимсов.

Как правило, выбирается участок перекрытия с увеличенным пролетом рамных бимсов и наименьшими коэффициентами опорных закреплений;

вычислить критическое напряжение карлингса σ_{ldgcr} как сжатого стержня, свободно опертого на поперечные переборки и поддерживаемого упругим основанием, создаваемым рамными бимсами; если $\sigma_{ldgcr} > \sigma_{cr}$, устойчивость перекрытия определяется устойчивостью указанных выше его участков в соответствии с зависимостями 13.2.2; при $\sigma_{ldgcr} < \sigma_{cr}$ устойчивость перекрытия обеспечивается устойчивостью карлингсов.

Коэффициенты заделок при этом вычисляются по следующим зависимостям:

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-3, а у продольных переборок

$$\kappa_1 = \kappa \cdot \{1 + 2/3 [I_{tdg_2} B_1 / (I_{tdg_1} B_2) + 3I_{tdg_2} h / (4I_{vst} B_2)]\}^{-1} \quad (13.2.3.1-1)$$

обозначения см. в формулах (13.2.2.2-5);

для перекрытий в соответствии с рис. 13.2.1-4, а и 13.2.1-5, а

$$\left. \begin{aligned} &\text{у продольных переборок } \kappa_1 = \\ &= [5/3 + I_{tdg} h / (2I_{vst} B_1)]^{-1}; \\ &\text{у бортов } \kappa_2 = [I + I_{tdg} h / (2I_{sg} B_1)]^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (13.2.3.1-2)$$

где I_{tdg} — момент инерции поперечного сечения рамного бимса с присоединенным пояском шириной не менее $B_1/6$, см⁴; I_{sg} , I_{vst} — моменты инерции рамного шпангоута и рамной стойки продольной переборки соответственно с присоединенными поясками, определяемыми, как указано в 13.2.2.2, см⁴.

13.2.3.2 Критическое напряжение (МПа) карлингса как балки, упруго опертой на рамные бимсы, определяется по формуле

$$\sigma_{ldgcr} = \sigma_c / \eta = \sigma_{ldgE} (\varphi + \beta), \quad (13.2.3.2-1)$$

где σ_c — действующие в палубе сжимающие напряжения, определяемые по формуле (2.3.1); η — коэффициент запаса устойчивости карлингса, принимаемый не более 0,8; φ — коэффициент, определяемый по формуле (13.2.2.2-1); β — коэффициент, характеризующий упругость основания, создаваемого рамными бимсами для карлингса:

$$\beta = 0,0103 I_{tdg} l^4 / (va B_2^3 I_{ldg}). \quad (13.2.3.2-2)$$

Здесь I_{tdg} — момент инерции поперечного сечения рамных бимсов на участках палубы, прилегающих к карлингсам, с присоединенным пояском шириной не менее чем $1/6$ пролета бимсов между жесткими опорами (в соответствии с принятыми в 13.2.1 обозначениями может быть I_{tdg_2}), см⁴; I_{ldg} — момент инерции поперечного сечения карлингса, см⁴:

$$I_{ldg} = I_{ldg}^{\circ} - \Sigma I_{dl_i}, \quad (13.2.3.2-3)$$

где I_{ldg}° — момент инерции поперечного сечения карлингса, см⁴, с присоединенным пояском шириной, равной 0,35 ширины перекрытия для случаев, изображенных на рис. 13.2.1-3, а и 13.2.1-4, а (т. е. $0,35B_2$ и $0,35B_1$ соответственно) и 0,35 суммы расстояний между карлингсом для случая согласно рис. 13.2.1-5, а (т. е. $0,7B_1/3$); однако при этом ширина присоединенного пояса карлингса не должна приниматься более $0,6l$; продольные балки, попадающие на указанный выше участок перекрытия, включаются в присоединенный пояс карлингса; ΣI_{a_i} — сумма моментов инерции поперечных сечений продольных балок с их присоединенными поясками, включаемых в присоединенный пояс карлингса; ν — коэффициент, определяемый по следующим формулам:

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-3, а

$$\nu = 1/48 - \nu_1/64; \quad (13.2.3.2-4)$$

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-4, а

$$\nu = \frac{C_1^2 C_2^2}{3} \{1 - 0,5 [C_2(1 + C_2)x_2 + C_1(1 + C_1)x_1]\}; \quad (13.2.3.2-5)$$

для перекрытия в соответствии с рис. 13.2.1-5, а для карлингса, расположенного ближе к борту

$$\nu_1 = (5 - 1,78x_1 - 2,22x_2)/162; \quad (13.2.3.2-6)$$

к продольной переборке

$$\nu_2 = (5 - 2,22x_1 - 1,78x_2)/162; \quad (13.2.3.2-7)$$

σ_{ldgE} — эйлерово напряжение, МПа, карлингса как свободно опертой балки без упругого основания:

$$\sigma_{ldgE} = 203I_{ldg} / (l^2 S_{ldg}^{\circ}), \quad (13.2.3.2-8)$$

Здесь I_{ldg} — момент инерции поперечного сечения карлингса, определяемый по формуле (13.2.3.2-3), см⁴; l — пролет карлингса (расстояние между поперечными переборками), м; S_{ldg}° — площадь поперечного сечения карлингса с присоединенным пояском, включая продольные балки [см. пояснения к формуле (13.2.3.2-3)], см².

Подстановка значения φ в формулу (13.2.3.2-1) приводит к следующему уравнению для определения действительного коэффициента запаса устойчивости карлингса η_{ldg} :

$$\eta_{ldg}^2 + \frac{\eta_{ldg}}{\beta} \left(\frac{4\sigma_c}{R_{eH}} - \frac{\sigma_c}{\sigma_{ldgE}} \right) - \frac{4}{\beta} \left(\frac{\sigma_c}{R_{eH}} \right)^2 = 0. \quad (13.2.3.2-9)$$

Действительное критическое напряжение (МПа) карлингса σ_{ldgcr} определяется при этом как

$$\sigma_{ldgcr} = \sigma_c / \eta_{ldg}, \quad (13.2.3.2-10)$$

где $\bar{\sigma}_c$ — действующие в корпусе сжимающие напряжения согласно формуле (2.3.1); η_{idg} — значение коэффициента запаса устойчивости карлингса, являющееся решением уравнения (13.2.3.2-9).

14. Проверка устойчивости пластин стенок составных сварных балок при действии местных нормальных и касательных напряжений

14.1 Нормальные и касательные эйлеровы напряжения (МПа) пластин определяются по формулам:

$$\sigma_E = 0,2n_s(s/h)^2; \quad (14.1-1)$$

$$\tau_E = 0,2n_\tau(s/h)^2, \quad (14.1-2)$$

где s, h — соответственно толщина, мм, и высота, м, пластины; n_s, n_τ — коэффициенты, характеризующие удлинение пластины и степень неравномерности действующих в плоскости пластины нормальных напряжений (n_s); значения n_s и n_τ для наиболее характерных комбинаций нагружения приведены в табл. 14.1.

14.2 Приведенное эйлерово напряжение пластин стенок составных сварных балок определяется по формуле

$$\sigma_{egE} = \frac{\sigma_E \sqrt{1+3(\tau/\sigma)^2}}{\frac{1+\psi}{4} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4}\right)^2 + \left(\frac{\tau/\tau_E}{\sigma/\sigma_E}\right)^2}}, \quad (14.2)$$

где σ, τ — действующие в плоскости пластины наибольшие нормальные и касательные напряжения (см. табл. 14.1), МПа; σ_E, τ_E — эйлеровы напряжения, определяемые формулами (14.1-1) и (14.1-2); ψ — см. табл. 14.1.

Приведенное критическое напряжение в пластине определяется по формуле (5-2), учитывая, что всегда $\sigma_{egE} > 0,5R_{eH}$.

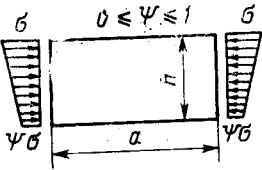
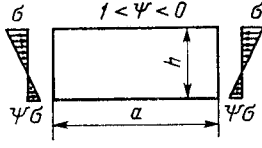
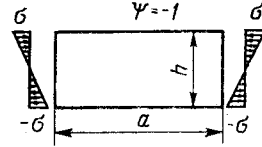
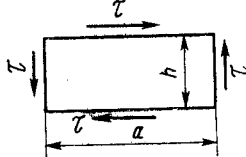
14.3 Условие устойчивости пластины записывается в виде

$$\eta = \frac{\sigma}{R_{eH}} \frac{\sqrt{1+3(\tau/\sigma)^2}}{1-R_{eH}^{(4\sigma_{egE})}}, \quad (14.3)$$

где η — см. разд. 4; σ_{egE} — в соответствии с формулой (14.2).

14.4 Проверка устойчивости пластин стенок составных сварных балок должна осуществляться преимущественно для тех районов связей, где имеет место наиболее неблагоприятное сочетание действующих нормальных (сжимающих) и касательных напряжений (обычно это районы действия значительных реактивных усилий: места установки распорок и пиллерсов, районы опирания на другие жесткие связи, районы опорных сечений связей в местах их закрепления у бортов, палуб, переборок и т. п.).

Таблица 14.1

Вид нагружения	$\gamma = a/h$	n_σ	n_τ
	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$8,4/(\psi+1,1)$ $\left(\gamma + \frac{1}{\gamma}\right)^2 \frac{2,1}{\psi+1,1}$	
	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$10\psi^2 - 6,4\psi + 7,6$ $10\psi^2 - 14\psi + 1,9 \times$ $\times (1+\psi) \left(\gamma + \frac{1}{\gamma}\right)^2$	
	$\gamma \geq 2/3$ $\gamma < 2/3$	24 $24 + 73\left(\frac{2}{3} - \gamma\right)^2$	
	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$-$ $-$	$16/3 + 4/\gamma^2$ $4 + 16/(3\gamma^2)$

14.5 Устойчивость пластин стенок составных сварных балок, имеющих облегчающие вырезы (лазы)¹ и вырезы для прохода балок набора (рис. 14.5-1).

Для данной пластины при действии возможных комбинаций нормальных нагрузок, приведенных в табл. 14.1, эти нагрузки должны быть представлены в виде суммы равномерно распределенной сжимающей нагрузки σ_1 и напряжений от чистого изгиба σ_2 , способом, указанным на рис. 14.5-2.

Эйлеровы нормальные напряжения (МПа) при действии только равномерного сжатия σ_1 или при только чистом изгибе σ_2 определяются по формуле

$$\sigma_E = 0,2n_s (s/h)^2 (1 - 0,8\lambda), \quad (14.5-1)$$

¹ Рассматриваются облегчающие вырезы, не подкрепленные поясками или ребрами жесткости.

где s, h, n_τ — см. 14.1; λ — относительный размер облегчающего выреза по высоте стенки:

$$\lambda = h_1/h \quad (14.5-2)$$

(здесь h_1 — см. рис. 14.5-1).

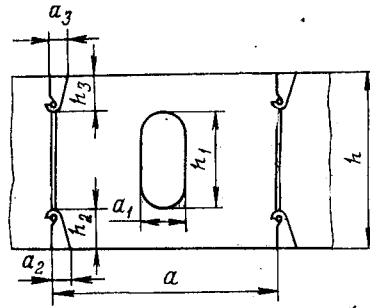


Рис. 14.5-1

Эйлеровы касательные напряжения (МПа) определяются по формуле

$$\tau_E = 0,2(s/h)^2 n_\tau \sqrt{1-\lambda} (h-h_2-h_3)(a-a_k)/(ah), \quad (14.5-3)$$

где s, h, n_τ — см. 14.1; h_2, h_3 — см. рис. 14.5-1, м; a_k — большая из величин a_2 и a_3 , м; обычно $a_k = a_2$ (см. рис. 14.5-1).

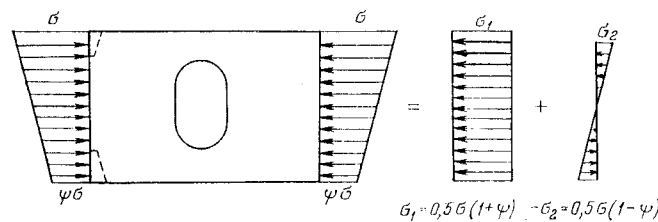


Рис. 14.5-2

Проверка устойчивости пластины, имеющей облегчающие вырезы (лазы) и вырезы для прохода балок набора, производится по формуле

$$\sigma_1/\sigma_{cr1} + \sigma_2/\sigma_{cr2} + \tau/\tau_{cr} \leq \eta, \quad (14.5-4)$$

где σ_1, σ_2, τ — соответственно напряжения действующие нормальные сжимающие, от изгиба и касательные, МПа; $\sigma_{cr1}, \sigma_{cr2}, \tau_{cr}$ — критические напряжения, определяемые настоящим пунктом с учетом разд. 5.

14.6 Момент инерции поперечного сечения ребер жесткости, расположенных нормально к пояску рамной связи, может быть определен по формуле (1.7.3.4.1), а ребер, параллельных пояску рамной связи, — по формуле (1.7.3.4.2) ч. II «Корпус» Правил.

14.7 Устойчивость свободных поясков рамных связей

14.7.1 Эйлерово напряжение пояска рамной связи определяется по формуле (10) настоящей Методики. Критическое напряжение пояска определяется с учетом разд. 5 Методики.

14.7.2 Запас устойчивости свободного пояска определяется в соответствии с формулой

$$\eta = \sigma_c / \sigma_{cr}, \quad (14.7.2-1)$$

где σ_c — действующее в пояске наибольшее сжимающее нормальное напряжение, МПа; σ_{cr} — критическое напряжение для пояска в соответствии с 14.7.1, МПа; η — коэффициент запаса в соответствии с разд. 4.

Поскольку для поясков обычно всегда соблюдается неравенство $\sigma_E > R_{eH}/2$, то формула (14.7.2-1) может быть представлена (с учетом разд. 4) в виде условия, устанавливающего предел отношения ширины пояска к его толщине:

$$b_f / s_f \leq 640 \sqrt{0,8 R_{eH} - \sigma_c} / R_{eH}, \quad (14.7.2-2)$$

где b_f и s_f — в миллиметрах.

УЧЕТ СРОКА СЛУЖБЫ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗМЕРОВ СВЯЗЕЙ КОРПУСА

Отменено в связи
с потерей актуальности

Настоящая работа предназначена для использования при проектировании судов в случаях, когда в соответствии с 1.6.2.1 и 1.6.2.2 ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР изменяются значения строительных толщин элементов корпуса по сравнению с требуемыми значениями, определенными по соответствующим главам указанной части.

1. Общие положения

1.1 Учет износа и коррозии корпуса судна как физических процессов, воздействующих на корпусные конструкции, приводит к необходимости увеличения их размеров для проектируемого судна. Вместе с тем повышение эффективности средств защиты от коррозии и применение коррозионно-стойких материалов позволяют несколько уменьшить строительные толщины элементов корпуса.

1.2 В настоящей работе обобщены методы учета условий и срока эксплуатации судна, а также средств эффективной защиты от коррозии, используемые ведущими классификационными обществами для определения размеров связей нового корпуса, предложены расчетные зависимости, позволяющие вычислять параметры прочности корпусов как проектируемых, так и судов в эксплуатации.

Вопросы, связанные с оценкой эффективности различных методов защиты от коррозии и с выбором методов такой защиты для конкретных судов, равно как и контроль за выполнением операций по защите от коррозии, не являются компетенцией Регистра СССР.

**2. Измененный момент сопротивления
поперечного сечения корпуса проектируемого судна.
Изменение размеров отдельных связей**

2.1 При уменьшении согласно 1.6.2.1 или увеличении согласно 1.6.2.2 ч. II «Корпус» Правил размеров конструктивных элементов корпуса судна момент сопротивления любого поперечного сечения корпуса (см³) должен быть не менее определенного по формуле

$$W_c = W_x - \Delta W, \quad (2.1-1)$$

где W_x — требуемый Правилами момент сопротивления корпуса, определяемый согласно 1.5.3.1—1.5.3.4 ч. II «Корпус» Правил, см³; ΔW — часть момента сопротивления рассматриваемого поперечного сечения корпуса, зависящая от срока и условий эксплуатации и наличия эффективной защиты от коррозии¹, см³.

Значение ΔW вычисляется в предположении, что площадь поперечного сечения элемента каждой продольной связи, включаемой в поперечное сечение корпуса при расчете W_x согласно 1.5.4, изменяется на величину ΔS_i (см²), определяемую по формуле

$$\Delta S_i = 10b_i(12U_{k_i} - \tau U_i), \quad (2.1-2)$$

где b_i — характерный размер поперечного сечения элемента продольной связи (ширина листа, высота стенки и ширина свободного пояска балки и т. п.), м; U_{k_i} — среднестатистическая скорость коррозионного уменьшения толщины элемента связи, приведенная в табл. 2.1-1 и 2.1-2, мм/год; τ — половина проектируемого времени эксплуатации, лет; U_i — величина предполагаемого годового уменьшения толщины элемента связи вследствие коррозии с учетом конкретных условий эксплуатации и/или наличия эффективной защиты от коррозии, мм/год.

Примечания: 1. Указанные в таблицах значения годового изменения толщин связей корпуса U_{k_i} относятся к обычной углеродистой стали. При использовании стали с другими прочностными свойствами или с иным химическим составом значения U_{k_i} подлежат согласованию с Регистром СССР.

2. Группы судов указаны в соответствии с 1.5.1.2 ч. II «Корпус» Правил.

¹ Под эффективной защитой от коррозии понимаются следующие методы борьбы с коррозией:

для подводной части корпуса — комплексная защита с использованием лакокрасочных покрытий и электрохимической защиты (катодной протекторной). Контроль эффективности электрохимической защиты осуществляется с помощью стационарного потенциала, равного 0,85—0,90 В по хлорсеребряному электроду сравнения;

для пояса переменных ватерлиний — любые лакокрасочные покрытия со сроком сохранности до 80—85% после двух лет службы;

для балластных и грузобалластных танков — комплексные способы защиты или лакокрасочные покрытия со сроком службы не менее восьми лет.

Таблица 2.1-1

Годовое уменьшение толщин элементов корпуса судов 1-й и 2-й групп

№ п/п	Связи	U_{ki} , мм/год
1	Наружная обшивка	
1.1	Борт в районе:	
.1	надводного борта	0,10
.2	переменных ватерлиний	0,15
1.2	Днище, включая скулу в районе цистерн:	
	балластных	0,15
	топливных	0,13
1.3	Скуловые листы в районе льял	0,20
1.4	Горизонтальный киль	0,18
2	Палубы	
2.1	Настил палуб:	
.1	верхней	0,10
.2	нижних	0,11
2.2	Комингсы грузовых люков	0,10
2.3	Стенки подпалубных цистерн	0,10
3	Второе дно	
3.1	Настил в районе:	
.1	балластных танков	0,15
.2	топливных цистерн	0,12
3.2	Крайний междудонный лист	0,38
3.3	Стенки скуловых цистерн	0,12
3.4	Обшивка внутренних бортов	0,10
4	Балки продольного набора:	
4.1	палуб	0,12
4.2	бортов	0,10
4.3	двойного дна	0,14

Таблица 2.1-2

Годовое уменьшение толщин элементов корпуса судов 3-й группы

№ п/п	Связи	U_{ki} , мм/год
1	Наружная обшивка	
1.1	Борт в районе:	
.1	надводного борта	0,13
.2	переменных ватерлиний	0,15
1.2	Днище, включая скулу:	
.1	подводная часть	0,18
.2	горизонтальный киль	0,23
2	Палуба	
2.1	Настил палубы	0,20
3	Обшивка продольных переборок	
3.1	Между грузовыми танками:	
.1	нижний пояс	0,19
.2	средние пояся	0,15
.3	верхний пояс	0,20
3.2	Между грузовыми и балластными танками:	
.1	нижний пояс	0,25

№ п/п	Связи	U_{ki} , мм/год
.2	средние пояся	0,22
.3	верхний пояс	0,30
4	Рамные продольные балки	
4.1	Вертикальный киль и днищевые стрингеры:	
.1	стенка	0,20
.2	поясок	0,15
4.2	Карлингс (отбойный лист):	
.1	стенка	0,20
.2	поясок	0,22
5	Балки продольного набора:	
5.1	палубы	0,22
5.2	днища	0,20
5.3	бортов и продольных переборок в районе:	
.1	0,1D от палубы	0,22
.2	0,1D от горизонтального кия	0,18
.3	в остальных районах по высоте	0,20

2.2 Значения предполагаемого годового уменьшения толщин элементов связей U_i устанавливаются на основе опыта надзора за эксплуатацией корпуса, результатов исследований и т. п. и подлежат согласованию с Регистром СССР.

2.3 В отношении величины ΔW при уменьшении размеров связей согласно 1.6.2.1 ч. II «Корпус» Правил [см. пояснения к формуле (2.1-1) данной работы] должно соблюдаться условие

$$\Delta \bar{W} \leq \Delta W, \quad (2.3-1)$$

где

$$\Delta \bar{W} = \frac{1,28nW_x}{(21-L/D)(2-b/B)} \text{ (см}^3\text{)}. \quad (2.3-2)$$

Здесь n — коэффициент, значения которого приведены в табл. 2.3; W_x — см. пояснение к формуле (2.1-1); b — суммарная ширина люковых вырезов в рассматриваемом сечении, м.

Таблица 2.3

L, м	n для судов			
	1-й и 2-й групп			3-й группы
	Одно-палубные	Двух-палубные	Трех-палубные	
80	0,802	0,716	0,686	1,575
100	0,700	0,629	0,589	1,262
120	0,631	0,563	0,540	1,031
140	0,562	0,502	0,481	0,843
160	0,521	0,470	0,450	0,712
180	0,510	0,455	0,436	0,600
200	0,505	0,450	0,432	0,531
220	0,502	0,448	0,429	0,502
240	0,500	0,447	0,428	0,500

2.4 При изменении размеров связей корпуса согласно 1.6.2.1 и 1.6.2.2 ч. II «Корпус» Правил толщина листовых элементов s_i (мм) определяется по формуле

$$s_i = s_0 - \Delta s, \quad (2.4-1)$$

где s_0 — толщина i -й связи, определенная по соответствующим разделам Правил, мм;

$$\Delta s = 12U_{k_i} - \tau U_i \text{ (мм);} \quad (2.4-2)$$

U_{k_i} , τ , U_i — см. пояснения к формуле (2.1-2).

Толщина Δs не должна приниматься более значений, приведенных в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4

№ п/п	Элементы	Допускаемое уменьшение толщины связей корпуса, мм
1	Настия расчетной палубы, ширстрек, обшивка днища, горизонтальный киль, скуловой лист, верхний пояс продольных переборок	1,2
2	Настия второй палубы на судах с тремя палубами и более, настил второго дна, обшивка борта, продольных и поперечных переборок	1,5
3	Продольные рамные балки расчетной палубы и днища (стрингеры, днищевые стрингеры)	1,2
4	Рамные балки поперечного набора (флоры, рамные бимсы и шпангоуты, горизонтальные рамы, рамные стойки переборок)	1,5
5	Продольные балки палубы, борта, днища, настила второго дна, балки поперечного набора (балки бракетных флоров, шпангоуты, бимсы), стойки переборок	1,8
6	Прочие элементы корпусных конструкций, обеспечивающие местную прочность и непроницаемость корпуса	2,0

Примечание. Если при грузовых операциях система защиты может быть повреждена (например, из-за использования грейферов и/или бульдозеров), уменьшение толщины элементов корпуса не допускается. Перечень соответствующих элементов, на которые распространяется это требование, подлежит согласованию с Регистром СССР.

2.5 При изменении размеров связей корпуса согласно 1.6.2.1 и 1.6.2.2 ч. II «Корпус» Правил момент сопротивления балок основного набора и рам W_i (см³) определяется по формуле

$$W_i = W_0 - \Delta W, \quad (2.5-1)$$

где W_0 — момент сопротивления i -й балки набора, требуемый соответствующими разделами Правил, см³; ΔW — часть момента

сопротивления рассматриваемой балки, зависящая от срока службы и условий эксплуатации судна, а также от наличия эффективной защиты от коррозии; вычисляется в предположении, что значения площади элементов поперечного сечения балки (стенки и поясков) изменяются на величину Δs_i (см²), определяемую формулой

$$\Delta s_i = 10b_i(12U_{k_i} - \tau U_i). \quad (2.5-2)$$

Здесь b_i — характерный размер поперечного сечения профиля (высота стенки, ширина поясков), м; U_{k_i} τ , U_i — см. пояснения к формуле (2.1-2).

Значения U_{k_i} для балок поперечного набора принимаются по табл. 2.1-1 и 2.1-2, как для продольных балок в том же районе.

Определенное таким образом значение ΔW для случаев согласно 1.6.2.1 ч. II «Корпус» Правил не должно превышать значений, вычисленных с учетом допускаемых уменьшений толщины согласно табл. 2.4, или $0,1W_0$, смотря по тому, что меньше.

Для судна в эксплуатации с износом связей корпуса значения предельно допускаемого момента сопротивления поперечного сечения корпуса, допускаемых остаточных толщин листов и моментов сопротивления и/или инерции балок набора должны устанавливаться исходя из соответствующих значений, предписываемых Правилами, без учета указанных в 1.6.2.1 и 1.6.2.2 ч. II «Корпус» Правил изменений, если таковые были приняты на стадии проектирования.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАГРУЗОК
В СЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВАХ ТОЛКАЕМЫХ СОСТАВОВ

Отменено в связи
с потерей актуальности

В методике в двух вариантах приведен метод расчета исходных данных и расчетов канатных и бесканатных сцепных устройств толкаемых составов. Оба варианта могут быть использованы при проектировании, а также для выбора элементов устройств при формировании составов и ремонтах. Расчет канатных сцепов приведен для случаев, когда ветви канатов или цепей практически параллельны друг другу, что дает возможность использовать метод в более широком плане. Указанные методы удовлетворяют требованиям Регистра СССР и эксплуатации.

1. Метод № 1

1.1 Расчетные исходные данные

1.1.1 Данный метод применяется для вычисления сил сцепления, если не имеется подробных расчетов нагрузок в местах сцепления или их замеров на моделях или на толкаемых составах.

1.1.2 Сила сцепления (кН) на одной стороне в продольном направлении судна, действующая в месте сцепления толкача со следующей баржей, вычисляется следующим образом:

$$F_B = (0,1PL_B/B_B)k, \quad (1.1.2)$$

где P — суммарная приводная мощность толкача, кВт; L_B и B_B — соответственно наибольшие длина и ширина толкача, м; k — расчетный коэффициент запаса прочности, принимаемый для Дуная и Эльбы равным 1,8; для других вод — подлежит согласованию с Регистром СССР.

1.1.3 Силы сцепления (кН) на одной стороне в продольном направлении судна, действующие в местах сцепления барж между собой, вычисляются следующим образом:

$$F_p = (0,1P/nB_p)k(L_B + L_p) \left(1 - \frac{L_B + L_p}{L}\right)^2, \quad (1.1.3)$$

где L_p и B_p — соответственно наибольшие длина и ширина баржи, следующей за толкачом, м; n — число рядов барж в принятом постоянном толкаемом составе; для расчета принимается, однако, не более 4; L — длина толкаемого состава, включая толкач, м (для расчета принимается не более 240 м).

1.1.4 Расчетные силы (кН) в поперечном направлении судна F_y , действующие в местах сцепления, должны определяться следующим образом:

$$F_v = 0,1P. \quad (1.1.4)$$

1.1.5 Расчетные силы (кН) в вертикальном направлении F_z , действующие в местах сцепления, должны определяться следующим образом:

$$F_z = 1,64tA_{WL}, \quad (1.1.5)$$

где t — относительное смещение углубления между судами в толкаемом составе, м; если не имеется данных по смещению углубления, принимается: 0,30 м — для барж длиной 30 м и менее, 0,20 м — для барж длиной 60 м и более. Величину смещения углубления для промежуточных значений длин барж следует определять линейной интерполяцией; A_{WL} — площадь ватерлинии одной баржи, м².

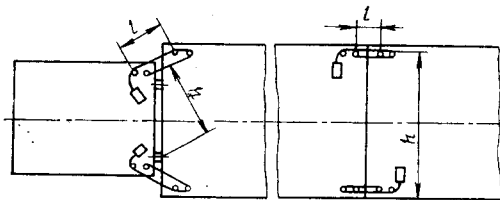


Рис. 1.2.1.1

1.2 Расчет канатных сцепов

1.2.1 Разрывное усилие канатов в целом и разрывное усилие цепей F_{Br} (кН) вычисляются по приведенной ниже формуле для случаев, когда ветви канатов или цепей сцепного устройства или сцепных устройств, находящихся на каждом борту судна, проведены практически параллельно друг другу:

.1 для места сцепления толкача со следующей баржей

$$F_{Br} = F_B B_B / (n_1 h), \quad (1.2.1.1)$$

где F_B — расчетная сила сцепления согласно 1.1.2, кН; n_1 — общее число натянутых на одной стороне судна канатных или цепных ветвей; h — эффективное плечо, м, равное расстоянию между констрфорсом на одной стороне судна и самой внутренней канатной или цепной ветвью на другой стороне судна согласно рис. 1.2.1.1. Если направление натянутых ветвей каната или цепи имеет между ними отклонение более 5°, значение эффективного плеча h подлежит особому согласованию с Регистром СССР;

.2 для мест сцепления между толкаемыми баржами

$$F_B = F_p B_p / (n_1 h), \quad (1.2.1.2)$$

где F_p — расчетная сила сцепления согласно 1.1.3, кН.

1.2.2 Общая сила предварительного натяжения на одной стороне судна F_v (кН) вычисляется следующим образом:

.1 для места сцепления толкача со следующей баржей

$$F_v = F_B B_B / h - 34h A_M / (n_p l), \quad (1.2.2.1)$$

где A_M — общее металлическое сечение канатных или цепных ветвей на одной стороне судна, см²; n_p — число сцепленных друг за другом барж принятого толкаемого состава, при расчете принимается не более 4; l — наименьшее расстояние между местами крепления или обвода канатов или цепей согласно рис. 1.2.1.1, у канатных сцепов это расстояние должно быть не менее 3 м;

.2 для мест сцепления между толкаемыми баржами

$$F_v = F_p B_p / h - 34h A_M / (n_p l); \quad (1.2.2.2)$$

.3 ни в коем случае сила предварительного натяжения F не должна быть менее определенной по формуле

$$F_{v_{\min}} = 0,063P. \quad (1.2.2.3)$$

1.2.3 Требуемое тяговое усилие F_s (кН) натяжного устройства (сцепные лебедки, храповые механизмы или другие приемлемые палубные механизмы) следует определять, учитывая, что углы обхвата канатов или цепей в местах обвода приблизительно равны 180° согласно следующим формулам:

.1 при обводе вокруг неподвижной детали с круглым поперечным сечением

$$F_s = (0,38F_v / n_2) 1,6^{n_3} / (1,6^{n_3} - 1), \quad (1.2.3.1)$$

где F_v — общая сила предварительного натяжения согласно 1.2.2, кН; n_2 — число натяжных устройств на одной стороне судна; n_3 — число канатных или цепных ветвей, натянутых в продольном направлении судна (обводки), каждого натяжного устройства; при обводе канатов или цепей вокруг неподвижных деталей с круглым сечением n_3 не должно быть более трех;

.2 при обводе с помощью шкивов

$$F_s = (0,15F_v / n_2) 1,17^{n_3} / (1,17^{n_3} - 1). \quad (1.2.3.2)$$

1.2.4 Держащая сила F_n (кН) любого натяжного механизма должна быть не менее определенной по формуле

$$F_n = F'_{Br}, \quad (1.2.4.1)$$

где F'_{Br} — разрывное усилие принятого каната в целом или цепи, которые относятся к натяжному устройству, кН.

Кроме того, держащая сила F_n (кН) сцепной лебедки на баржах при условии, что канатное соединение состоит из трех ветвей, должна быть не менее определенной по формуле

$$F_n = 0,13L_p B_p d_p, \quad (1.2.4.2)$$

где d_p — наибольшая осадка баржи, м.

1.2.5 Допустимые приведенные напряжения в деталях (кнехтах, шкивах, валках, гаках, проушинах и пр.) сцепных устройств должны быть не более 0,95 предела текучести примененного материала при воздействии результирующих канатных или цепных сил, которые определяются из разрывного усилия принятого каната в целом или цепи.

Приведенные напряжения (МПа) следует определять по формуле

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}, \quad (1.2.5)$$

где σ и τ — соответственно нормальные и касательные напряжения в рассматриваемом сечении, МПа.

1.2.6 Если канаты или цепи проходят над транцами судов, то в местах соприкосновения следует расположить валки, шкивы или полукруглые профили.

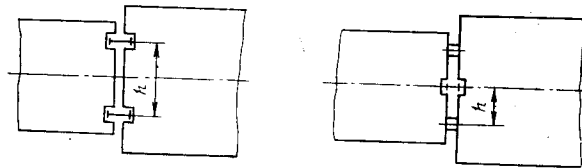


Рис. 1.3.1.1

1.3 Расчет бесканатных сцепов

1.3.1 Расчетные силы сцепления (кН) в продольном направлении судна F_x должны определяться следующим образом:

.1 для мест сцепления толкача со следующей баржей

$$F_x = F_B B_B / h, \quad (1.3.1.1)$$

где F_B — расчетная сила сцепления согласно 1.1.2, кН; h — эффективное плечо согласно рис. 1.3.1.1, м;

.2 для мест сцепления между баржами

$$F_x = F_p B_p / h, \quad (1.3.1.2)$$

где F_p — расчетная сила сцепления согласно 1.1.2, кН.

1.3.2 Допустимые приведенные напряжения в деталях сцепных устройств должны быть не более 0,95 предела текучести примененного материала при воздействии расчетных сил F_x , F_y и F_z в зависимости от типа устройства.

1.3.3 Конструкция сцепных устройств должна быть такой, чтобы при воздействии расчетных сил сцепления согласно 1.3.1 угол раскрытия φ между транцами судов (град) не был более определенного по формуле

$$\varphi = 0,20 / n_p, \quad (1.3.3)$$

где n_p — число сцепленных друг за другом барж принятого толкаемого состава (в расчете n_p не должно приниматься больше 4).

2. Метод № 2

2.1 Расчетные исходные данные

2.1.1 Данный метод используется для вычисления сил сцепления, если не имеется подробных расчетов нагрузок в местах сцепления или их замеров на моделях или на толкаемых составах.

2.1.2 Расчетные моменты сцепления вокруг вертикальной оси M (кН·м), действующие в местах сцепления, определяются следующим образом:

.1 для места сцепления толкача со следующей баржей

$$M = k_1 F_Q L_B (1 - L_B/L)^2, \quad (2.1.2.1-1)$$

где k_1 — коэффициент, вычисляемый по формуле

$$k_1 = 1,5 - 0,032\sqrt{L}; \quad (2.1.2.1-2)$$

F_Q — максимальная составляющая силы рулевых и пропульсивных органов в поперечном сечении судна, кН. Если не имеется точных данных для этой силы, ее следует определять по формуле

$$F_Q = F_{QD} + F_{QR}. \quad (2.1.2.1-3)$$

Здесь F_{QD} — максимальная составляющая силы рулевых винтов или винтов фиксированного шага, работающих в поворотных насадках в поперечном сечении судна, кН:

$$F_{QD} = 0,187 P \sin \alpha, \quad (2.1.2.1-4)$$

где P — суммарная приводная мощность толкача в гребных винтах, кВт; α — угол возможного отклонения тяги, град (в расчете принимается не более 90°); F_{QR} — максимальная составляющая силы листовых рулей и поворотных насадок в поперечном направлении судна, кН:

$$F_{QR} = 30,4 A V^2 \cdot 10^{-3}, \quad (2.1.2.1-5)$$

где A — площадь проекций всех рулей и поворотных насадок в нулевом положении на диаметрально плоскость, m^2 ; V — наибольшая проектная скорость передним ходом принятого толкаемого состава, км/ч; L_B — наибольшая длина толкача, м; L — длина принятого толкаемого состава, включая толкач, м;

.2 для мест сцепления между толкаемыми баржами

$$M = k_1 F_Q (L_B + L_p) \left(1 - \frac{L_B + L_p}{L}\right)^2 n, \quad (2.1.2.2)$$

где L_p — наибольшая длина баржи, следующей за толкачом, м; n — число рядов барж в принятом постоянном толкаемом составе (в расчете принимается не более 4);

.3 для расчета сцепного устройства в корме барж принимается наибольший из моментов сцепления.

2.1.3 Расчетные силы в поперечном сечении судна F_y (кН), действующие в местах сцепления, должны определяться по формуле

$$F_y = 0,8F_Q. \quad (2.1.3)$$

2.1.4 Расчетные силы в вертикальном направлении F_z (кН), действующие в местах сцепления, должны определяться следующим образом:

$$F_z = 1,64tA_{WL}, \quad (2.1.4)$$

где t — относительное смещение углубления между судами в толкаемом составе, м. Если не имеется данных по смещению углубления, t принимается: 0,30 м — для барж длиной 30 м и менее,

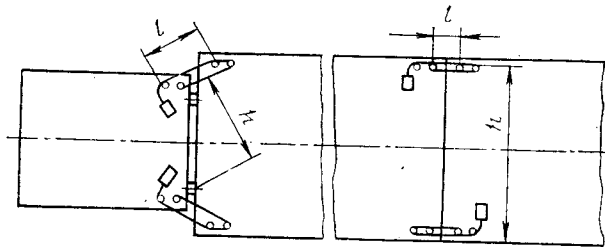


Рис. 2.2.1

0,20 м — для барж длиной 60 м и более. Величину смещения углубления для промежуточных значений длин барж следует определять линейной интерполяцией; A_{WL} — площадь ватерлинии одной баржи, м².

2.2 Расчет канатных сцепов

2.2.1 Разрывное усилие каната в целом и цепей F_{Br} (кН) вычисляется по приведенной ниже формуле для тех случаев, когда ветви канатов или цепей сцепного устройства или сцепных устройств, находящихся на каждом борту судна, проведены практически параллельно друг другу:

$$F_{Br} = 3M / (n_1 h), \quad (2.2.1)$$

где M — расчетные моменты сцепления согласно 2.1.2, кН·м; n_1 — общее число натянутых ветвей каната или цепи на одной стороне судна; h — эффективное плечо, равное расстоянию между контрфорсом на одной стороне судна и самой внутренней канатной или цепной ветвью на другой стороне судна согласно рис. 2.2.1, м. Если направление натянутых ветвей каната или цепи имеет между ними отклонение более 5°, то значение эффективного плеча h подлежит особому согласованию с Регистром СССР.

2.2.2 Общая сила предварительного натяжения на одной стороне судна F_v (кН) вычисляется следующим образом:

$$F_v = M/h - 34hA_m / (n_p l), \quad (2.2.2-1)$$

где A_m — общее металлическое сечение канатных или цепных ветвей на одной стороне судна, см²; n_p — число сцепленных друг за другом барж принятого толкаемого состава, при расчете принимается не более 4; l — наименьшее расстояние между местами крепления или обвода канатов или цепей согласно 2.2.1, у канатных сцепов это расстояние должно быть не менее 3 м.

Ни в коем случае сила предварительного натяжения F_v (кН) не должна быть менее определенной по формуле

$$F_{v_{\min}} = (23P + 38AV^2) \cdot 10^{-3}. \quad (2.2.2-2)$$

2.2.3 Требующееся тяговое усилие F_s (кН) натяжного устройства (сцепные лебедки, храповые механизмы или другие приемлемые палубные механизмы) следует определять с учетом того, что углы обхвата канатов или цепей в местах обвода приблизительно равны 180° согласно формулам:

.1 при обводе вокруг неподвижной детали с круглым поперечным сечением

$$F_s = (0,38F_v/n_2) 1,6^{n_3} / (1,6^{n_3} - 1), \quad (2.2.3.1)$$

где F_v — общая сила предварительного натяжения согласно 2.2.2, кН; n_2 — число натяжных устройств на одной стороне судна; n_3 — число канатных или цепных ветвей, натянутых в продольном направлении судна (обводки), каждого натяжного устройства; при обводе канатов или цепей вокруг неподвижных деталей с круглым сечением n_3 не должно быть более трех;

.2 при обводе с помощью шкивов

$$F_s = (0,15F_v/n_2) 1,17^{n_3} / (1,17^{n_3} - 1). \quad (2.2.3.2)$$

2.2.4 Держащая сила F_n (кН) любого натяжного устройства должна быть не менее определенной по формуле

$$F_n = F_{Br}, \quad (2.2.4)$$

где F_{Br} — разрывное усилие принятого каната в целом или цепи, которые относятся к натяжному устройству, кН.

2.2.5 Допустимые приведенные напряжения в деталях (кнехтах, шкивах, валках, гаках, проушинах и пр.) сцепных устройств не должны быть более 0,95 предела текучести примененного материала при воздействии результирующих канатных или цепных сил. Результирующие канатные или цепные силы определяются из разрывного усилия принятого каната в целом или цепи.

Приведенные напряжения (МПа) следует определять по формуле

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}, \quad (2.2.5)$$

где σ — нормальные напряжения в рассматриваемом сечении, МПа; τ — касательные напряжения в рассматриваемом сечении, МПа.

2.2.6 Если канаты или цепи проходят над транцами судов, то в местах соприкосновения следует расположить валки, шкивы или полукруглые профили.

2.3 Расчет бесканатных сцепов

2.3.1 Расчетные силы сцепления (кН), действующие в местах сцепления в продольном направлении судна F_x , должны определяться следующим образом:

$$F_x = 2,5M/h, \quad (2.3.1)$$

где M — расчетные моменты сцепления согласно 2.1.2, кН·м; h — эффективное плечо согласно рис. 2.3.1, м.

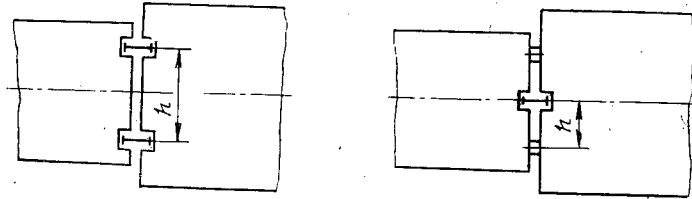


Рис. 2.3.1

2.3.2 Допустимые приведенные напряжения в деталях сцепных устройств должны быть не более 0,95 предела текучести примененного материала при воздействии расчетных сил F_x , F_y и F_z в зависимости от типа устройства.

2.3.3 Конструкция сцепных устройств должна быть такой, чтобы при воздействии расчетных сил сцепления согласно 2.1.2 угол раскрытия φ (град) между транцами судов не был более определенного по формуле

$$\varphi = 0,20/n_p, \quad (2.3.3)$$

где n_p — число сцепленных друг за другом барж принятого толкаемого состава (в расчете не должно приниматься больше 4).

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НА СВАРИВАЕМОСТЬ
ЗАЩИТНЫХ ГРУНТОВ, НЕУДАЛЯЕМЫХ ПЕРЕД СВАРКОЙ**

**Отменено в связи
с потерей актуальности.
Внедрено в п. 2.6 и 6.5.4
ч. XIII с 2019г.**

В соответствии с требованиями ч. XIV «Сварка» Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР (1985) допускается сварка стальных деталей, покрытых грунтом, без его удаления. В этом случае грунт должен быть допущен Регистром СССР в соответствии с данной Методикой.

1. Общие указания

1.1 Влияние на свариваемость неудаляемых перед сваркой грунтов должно быть проверено испытанием сварных соединений. Грунт допускается только для тех способов сварки и сварочных материалов, в результате испытаний с которыми было доказано, что грунт не оказывает отрицательного влияния на формирование шва и механические свойства сварного соединения. Испытание должно производиться под надзором Регистра СССР.

Возможность допуска грунта устанавливается по результатам испытаний тавровых проб. Испытания стыковых проб могут быть потребованы Регистром при сомнении в однозначности результатов испытаний тавровых проб.

1.2 Заявка об испытании может быть подана как заводом—изготовителем грунта, так и заводом-потребителем.

1.3 В заявке на испытание грунта должны указываться его изготовитель, марка, вид и структура, область применения и способ сварки, правила применения (обработка поверхности, толщина слоя и т. п.).

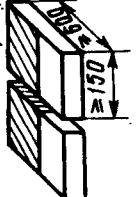
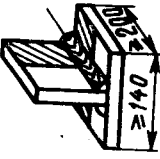
2. Программа испытания

2.1 Программа испытания составляется заводом согласно приведенным ниже указаниям и согласовывается с Регистром.

2.2 Грунт должен быть испытан на судостроительной стали наиболее высокой категории из тех, для которых он будет применяться. Испытание должно проводиться теми способами сварки, для которых грунт будет применяться.

2.3 Испытание грунта должно производиться на пробах, указанных в табл. 2.3. Длина пробы должна быть достаточной для изготовления всех требуемых образцов. Конструктивные элементы подготовки кромок на пробах (зазор, угол разделки, величина притупления) принимаются в соответствии со стандартами. Грунтовка пластин, из которых собираются пробы, производится до сборки последних. Грунт наносится только на половину длины

Виды проб для испытания грунтов

Способ сварки	Вид и размер пробы	Толщина материала, мм	Разделка кромок	Положение сварки	Количество стыбов	Условия сварки
	Стыковая проба <i>Грунт на половине длины пробы</i> 	6...8	Без разделки (см. 8.2.7)	Нижнее	1	
		12...15	V	Нижнее	1	Для сварки должны применяться электроды диаметром 4 мм. Корень шва с обратной стороны заваривается после подрубки
Ручная	Тавровая проба <i>Однопроходный шов</i> 	12...15	Без разделки	Верхнее	1	Для сварки должны применяться электроды диаметром 4 мм. Направление сварки сверху вниз

14...15 Без разделки Нижнее 1
(см. 8.2.8)

Стыковая проба, аналогичная про-
бе при ручной сварке

18...20 V Нижнее 1 Сварка проб производится за
два прохода — по одному с
каждой стороны

Автоматическая
или полуавтомати-
ческая под флюсом

Тавровая проба, аналогичная про- 18...20 Без разделки Нижнее 1 Каждый шов должен быть
бе при ручной сварке сварен за один проход катетом
5—6 мм

6...8 Без разделки Нижнее 1
(см. 8.2.8)

Стыковая проба, аналогичная про-
бе при ручной сварке

14...16 V Нижнее 1 Сварка проб производится за
два прохода — по одному с
каждой стороны
Верхнее 1

Сварка в среде
CO₂ (полуавтоста-
тическая)

Тавровая проба, аналогичная про- 12...15 Без разделки Нижнее 1 Каждый шов должен быть
бе при ручной сварке сварен за один проход катетом
5—6 мм
Верхнее 1

пробы; при этом со стыкуемых кромок грунт перед сваркой не удаляется.

2.4 Толщина слоя грунта на пробах должна быть на 20% больше толщины, указанной изготовителем для обычного применения, однако она не должна быть менее 20 мкм.

Лаборатория, производящая испытание, должна располагать приборами, позволяющими относительно точно измерять толщину слоя грунта.

2.5 Пробы, указанные в табл. 2.3, должны свариваться на обычных режимах, принятых для данного типа сварочных материалов. Тавровая проба при ручной сварке в нижнем положении должна свариваться так, чтобы шов формировался возможно меньшего катета. Тавровая проба при сварке в среде CO_2 в вертикальном положении сваривается снизу вверх.

Пробы при сварке под флюсом могут быть сварены автоматической или полуавтоматической сваркой.

2.6 Стыковая проба без разделки при ручной сварке требуется в том случае, когда применяются электроды для глубокого провара.

2.7 Стыковая проба без разделки при сварке под флюсом и при сварке в CO_2 требуется, если применяется способ односторонней сварки с обратным формированием шва.

3. Отбор образцов от проб

Стыковые пробы

3.1 Каждая стыковая проба перед разрезкой на образцы подлежит радиографическому контролю. Результаты контроля должны показать, что качество швов, сваренных по грунту, удовлетворяет требованиям 5.3.2.1 ч. XIV «Сварка».

3.2 Из загрунтованных и незагрунтованных частей каждой стыковой пробы должно быть изготовлено по комплекту испытательных образцов. В каждый комплект должны входить 2 плоских образца на растяжение, 2 образца на изгиб (один из них изгибается так, что в зоне растяжения находится вершина шва, другой — так, что в зоне растяжения находится его корень), по 3 образца на ударный изгиб (из пробы толщиной более 10 мм) с надрезом по центру шва и по линии сплавления, один поперечный макрошлиф.

Тавровые пробы

3.3 Из загрунтованной и незагрунтованной частей каждой тавровой пробы должно быть изготовлено по комплекту испытательных образцов. В каждый комплект должно входить по одному образцу на излом первого и второго шва и один макрошлиф.

4. Испытательные образцы

4.1 Плоские разрывные образцы должны изготавливаться в соответствии с 4.2.3.2.

4.2 Образцы на изгиб должны изготавливаться и испытываться в соответствии с 4.2.3.2.

4.3 Образцы на ударный изгиб должны изготавливаться в соответствии с 4.2.3.1. Температура при испытании на ударный изгиб с надрезом по центру шва должна соответствовать табл. 4.2.1.3-2.

Образцы на ударный изгиб с надрезом по линии сплавления испытываются при +20°C.

4.4 Поперечный макрошлиф должен иметь толщину (измеряемую вдоль шва) около 20 мм и ширину по меньшей мере по 5 мм в стороны от шва. Макрошлиф осматривается на наличие провара и пористости.

4.5 Тавровый образец на излом должен иметь размер вдоль шва 35 мм и более.

Для излома тавровых образцов один из швов на образце срезается. Сломанный шов проверяется на наличие пористости в изломе и вид излома.

5. Оценка результатов испытаний

5.1 Результаты испытаний образцов на растяжение, изгиб и ударный изгиб, взятых из заgroundованной и незаgroundованной частей стыковой пробы, должны удовлетворять табл. 4.2.1.3-2 ч. XIV «Сварка».

5.2 Макрошлифы сварных соединений, взятые из заgroundованной и незаgroundованной частей пробы, должны показать одинаковое состояние шва. На них не должно быть трещин, пор недопустимой величины, шлаковых включений, непроваров, несплавлений и других пороков. Особое внимание следует обратить на наличие провара в корне тавровых швов.

5.3 По виду поверхности излома тавровых образцов должна быть оценена склонность к пористости угловых швов при сварке по грунту. Наличие пористости в изломе швов и вид излома оцениваются отдельно для первого и второго швов. Сплошная пористость в корне шва должна служить признаком непригодности грунта для тавровых и угловых соединений при данном способе сварки. Отдельные небольшие поры не служат браковочным признаком.

Сборник нормативно-методических материалов

Книга четвертая

Отв. за выпуск *А. А. Сергеев*

Редактор *Н. А. Алексеева*

Худ. редактор *З. П. Фролова*

Технический редактор *Б. Г. Колобродова*

Корректоры *Н. Н. Опарина, Г. Е. Грибкова*

Сдано в набор 15.05.86 г. Подписано в печать 5.11.86 г.
Формат изд. 60×90/16. Бум. тип. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Печ. л. 8,5. Уч.-изд. л. 8,25. Тираж 3000 экз.
Изд. № 1271/5-В. Заказ тип. № 515. Цена 1 р. 65 коп.

В/О «Мортехинформреклама»
125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, 14

Типография «Моряк», Одесса, ул. Ленина, 26

ДЛЯ ЗАМЕТОК