

2-029901-001

Регистр СССР

НОРМЫ ПРОЧНОСТИ
МОРСКИХ СУДОВ

НД/2-05-012

Контрольный



Ленинград

1991

Тех. Регистр
Регистр

Нормы прочности морских судов подготовлены на основе работ в области нормирования прочности корпусных конструкций, выполнявшихся в ЦНИИ им.акад. А.Н.Крылова, ЦНИИМФ, и результатов обсуждения вопросов нормирования прочности на специальной рабочей группе секции прочности ИТС Регистра СССР с учетом замечаний и предложений заинтересованных организаций в период опытного использования редакций Норм 1985-89 гг.

По своей структуре и уровню требований к корпусным конструкциям Нормы прочности в целом согласованы с Правилами Регистра СССР издания 1990 г. Они позволяют осуществлять расчетное проектирование и оптимизацию корпусов судов, по типу, характеристикам и условиям эксплуатации выходящих за пределы, регламентируемые Правилами, а также производить проверку прочности и оптимизацию корпусных конструкций, спроектированных по этим Правилам.

Все замечания и предложения по содержанию Норм прочности следует направлять в ГУ Регистра СССР, ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова и ЦНИИМФ.

СОДЕРЖАНИЕ

Основные условные обозначения	4
I Общие положения	6
I.1 Назначение Норм	6
I.2 Виды и классификация расчетных нагрузок	7
2 Общая прочность	9
2.1 Волновые и ударные нагрузки	9
2.2 Критерии проверки прочности	22
2.3 Выбор расчетных поперечных сечений корпуса и определение их элементов. Требования к устойчивости	32
3 Местная прочность	40
3.1 Опасные и допускаемые состояния	40
3.2 Требования к расчетным схемам	42
3.3 Расчетные нагрузки	47
3.3.1 Внешние нагрузки, вызванные воздействием моря	47
3.3.2 Давления в носовой части судна при ударах волн в днище и развалы бортов	49
3.3.3 Нагрузки, вызванные воздействием груза	55
3.4 Нормирование местной прочности конструкций	64
3.4.1 Наружная обшивка	64
3.4.2 Днищевые перекрытия	66
3.4.3 Балки основного набора днища	70
3.4.4 Настил второго дна	73
3.4.5 Балки основного набора второго дна	73
3.4.6 Палубные перекрытия	74
3.4.7 Расчет палубных конструкций на действие нагрузок от колесной техники	77
3.4.8 Бортовой набор	78
3.4.9 Переборки	80
Приложение. Учет износа связей	86

Основные условные обозначения

- L - длина судна, измеряемая в соответствии с определением в части II "Корпус" на уровне летней грузовой ватерлинии, за исключением расчетов общей прочности по настоящим Нормам, когда эта величина измеряется на уровне расчетной ватерлинии при соблюдении ограничений, оговоренных в Правилах;
- B - ширина судна на миделе, м;
- D - высота борта судна на миделе, м;
- d_x - осадка судна на миделе для рассматриваемого грузового состояния судна, м;
- Δ - водоизмещение судна при рассматриваемом грузовом состоянии, т;
- C_b - коэффициент общей полноты;
- α - коэффициент полноты расчетной ватерлинии на тихой воде;
- P - расчетное давление, кПа ;
- a - длина меньшей стороны опорного контура пластины, м;
- b - длина большей стороны опорного контура пластины, м;
- S - толщина пластины, мм;
- ρ_r - плотность груза, т/м³;
- ρ_s - плотность морской воды, т/м³ (в расчетах можно принимать $\rho_s = 1,02$ т/м³);
- U_c - спецификационная скорость судна на тихой воде, уз.;
- $F_r = \frac{U_m}{\sqrt{gL}}$ - число Фруда (U_m - скорость судна в м/с, $U_m = 0,5148 U_c$);
- F_2^A - число Фруда, соответствующее скорости судна на волнении U_m^A ;
- $g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения;
- σ - расчетное нормальное напряжение, МПа;
- τ - расчетное касательное напряжение, МПа;
- R_{en} - предел текучести стали, МПа;
- $\sigma_r^A = K_n R_{en}$ - нормативный предел текучести по нормальным напряжениям, МПа,

где

$$K_n = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{R_{en}}{235} - 1 \right)^{1,5}} \quad (\text{см. таблицу});$$

$\tau_t^H = 0,576 \tau_t^H$ - нормативный предел текучести по касательным напряжениям, МПа;

E - модуль нормальной упругости, МПа.

Таблица

Значения K_n

K_n	R_{en} , МПа
1,0	235
0,969	315
0,945	355
0,9215	390

I Общие положения

I.1 Назначение Норм

I.1.1 Нормы предназначены для выполнения расчетной проверки прочности конструкций стальных корпусов морских судов длиной от 60 до 350 м, по конструктивным типам, соотношениям размерений и (или) условиям эксплуатации выходящим за пределы, регламентируемые Правилами Регистра^{*}.

При расчетах прочности конструкций корпусов судов, для которых перечисленные характеристики находятся в пределах, указанных в Правилах, результаты расчета в каждом отдельном случае являются предметом специального рассмотрения Регистром.

I.1.2 Приводимые в Нормах величины расчетных нагрузок, нормы допускаемых напряжений и запасов прочности справедливы только при условии, что материал корпуса и конструктивное оформление его узлов удовлетворяют действующим требованиям, а принятые для постройки корпуса технологические процессы обеспечивают необходимое качество изготовления конструкций.

Возможность использования Норм при отступлениях от указанных условий является предметом специального рассмотрения Регистром.

I.1.3 При применении расчетных нагрузок и (или) схем, отличных от предусмотренных Нормами, методика расчета и значения нормативов прочности подлежат специальному согласованию с Регистром.

I.1.4 Регламентируемый настоящими Нормами порядок выполнения расчетов прочности предусматривает учет в явном виде влияния износа и коррозии на толщины связей корпуса.

I.1.5 Толщины связей конструкций корпуса во всех случаях должны приниматься не менее предписываемых Правилами Регистра минимальных толщин для таких конструкций.

^{*} В дальнейшем - "Регистр".

I.2 Виды и классификация расчетных нагрузок

I.2.1 В качестве расчетных в Нормах принимаются следующие нагрузки:

- от воздействия моря;
- от воздействия груза и механизмов (массы груза, сил инерции, давления жидкого груза);
- особые (испытательные и оцениваемые как аварийные).

I.2.2 Нагрузки классифицируются по следующим признакам:

продолжительность действия:

д л и т е л ь н а я - время действия нагрузки соизмеримо или больше времени одного рейса;

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

изменение во времени:

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

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

воздействие на конструкцию:

с т а т и ч е с к а я - время изменения нагрузки в 2,5 раз и более превышает период первого тона свободных колебаний конструкции;

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

I.2.3 Постоянные нагрузки от воздействия внешней среды и жидких грузов при отсутствии волнения и качки судна, а также их постоянные (либо мало изменяющиеся во времени) составляющие при наличии волнения и качки называются г и д р о с т а т и ч е с к и м и .

Переменные составляющие нагрузки указанного происхождения при наличии волнения и качки называются в о л н о в ы м и или г и д р о - д и н а м и ч е с к и м и . Аналогичные составляющие нагрузок, обусловленные ускорениями при движении грузов совместно с корпусом судна при качке или изменении параметров его движения, называются и н е р ц и - о н н ы м и .

Гидродинамические нагрузки могут иметь импульсный характер с периодом действия, близким к периоду собственных колебаний конструкций и меньшим, когда необходим непосредственный учет динамики нагружения при расчетах конструкций.

1.2.4 Переменные волновые нагрузки представлены в Нормах в виде эксплуатационных (обеспеченность порядка 10^{-5}) и экстремальных (обеспеченность порядка 10^{-8}) нагрузок.

Первые из них соответствуют осредненному за время эксплуатации судна уровню нагрузок, исходя из которых устанавливаются требования к работоспособности конструкций в условиях многократного нагружения, вторые - практически наибольшим нагрузкам, определяющим требования к предельной прочности конструкций.

2 Общая прочность

2.1 Волновые и ударные нагрузки

2.1.1 В настоящем разделе приводятся основные формулы для определения обусловленных волнением моря изгибающих моментов, перерезывающих сил и крутящих моментов, используемых при расчетах общей прочности.

Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде определяются в соответствии с требованиями Правил Регистра.

2.1.2 Расчет волновых изгибающих моментов выполняется по формуле

$$M_{wi} = \frac{1}{2} h_i K_i(\alpha) x_0 x_1 \beta L^2 \varphi_m(x), \text{ кН}\cdot\text{м}. \quad (2.1.2-1)$$

Здесь h_i - высота расчетных волн, графики значений которых для судов неограниченного района плавания приведены на рис.2.1.2-1. При этом $i=1$ соответствует нагрузке обеспеченностью $\sim 10^{-5}$, а $i=2$ - $\sim 10^{-8}$;

K_i - коэффициент "статической постановки" судна на расчетную волну, определяемый по следующим формулам:

при $i=1$:

$$K_i = K_1(\alpha) = 0,60\alpha - 0,17; \quad (2.1.2-2)$$

при $i=2$:

при перегибе судна на вершине расчетной волны

$$K_i(\alpha) = K_2^a(\alpha) = 0,68\alpha - 0,25; \quad (2.1.2-3)$$

при прогибе судна на подошве расчетной волны

$$K_i(\alpha) = K_2^a(\alpha) = 0,52\alpha - 0,09;$$

x_0 - гидродинамический поправочный коэффициент, зависящий от соотношений $\frac{d x}{L}$ и $\frac{B}{L}$ (рис.2.1.2-2);

x_1 - поправочный коэффициент (рис.2.1.2-2), учитывающий влияние скорости судна на волнении (число F_z^a - см. формулы (2.1.6-1) и (2.1.6-2) и изгибающего момента на тихой воде $M_{тв}$ (здесь перегибающий момент $M_{тв}$ принимается со знаком +, а прогибающий со знаком -). При этом во всех случаях следует считать* (см.сноску на с.16).

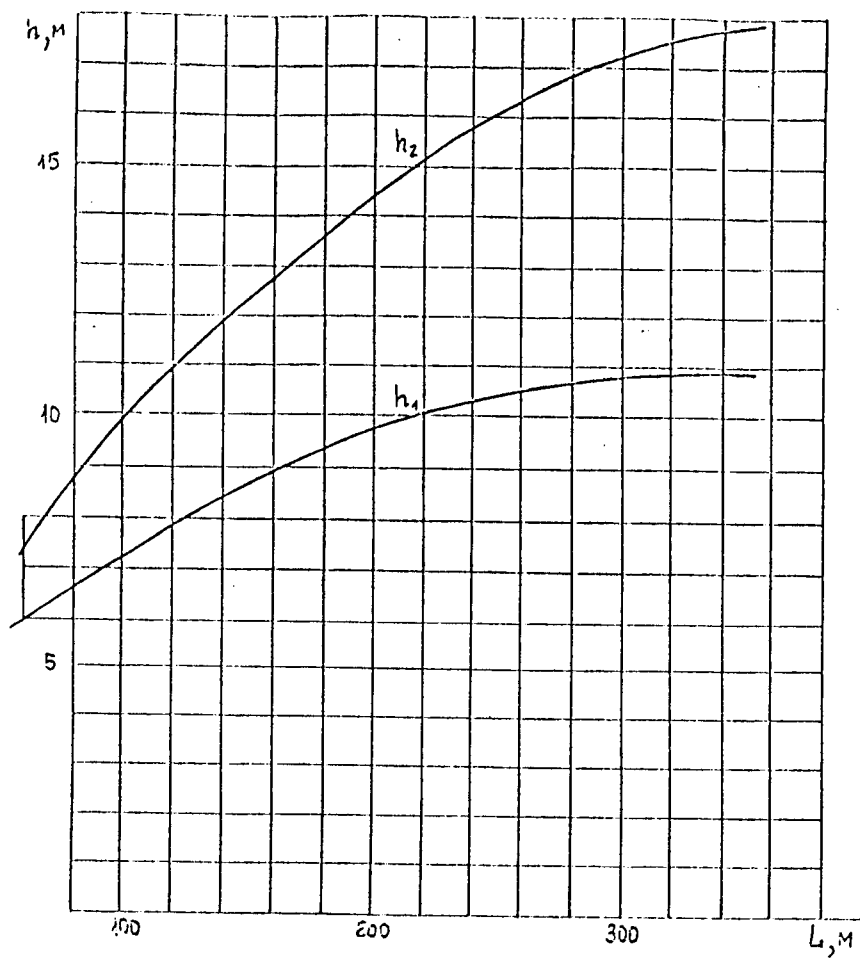


Рис. 2.1.2-1.

Расчетная высота волны.

$$h_1 = K_c C_w ; \quad h_2 = K_{5,8} K_c C_w , \quad \text{где}$$

$$K_{5,8} = 1 + 0,12 \left(2 + \frac{L}{100} \right)$$

$$K_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} \leq 1$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \leq 10,75 ; \text{ м.}$$

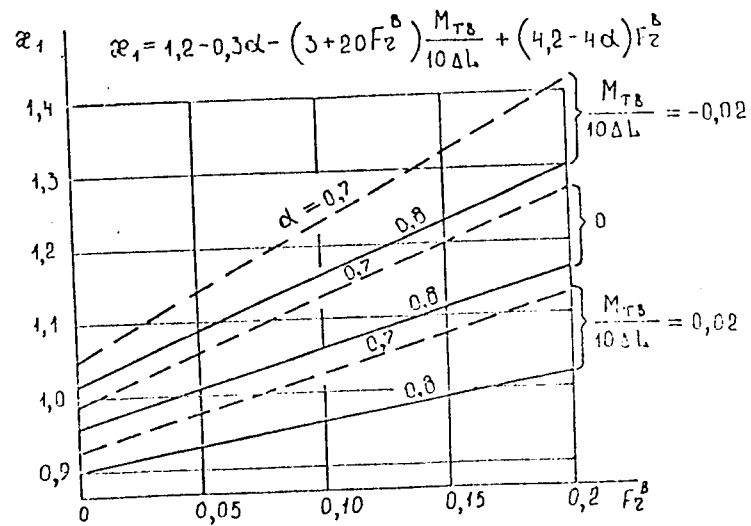
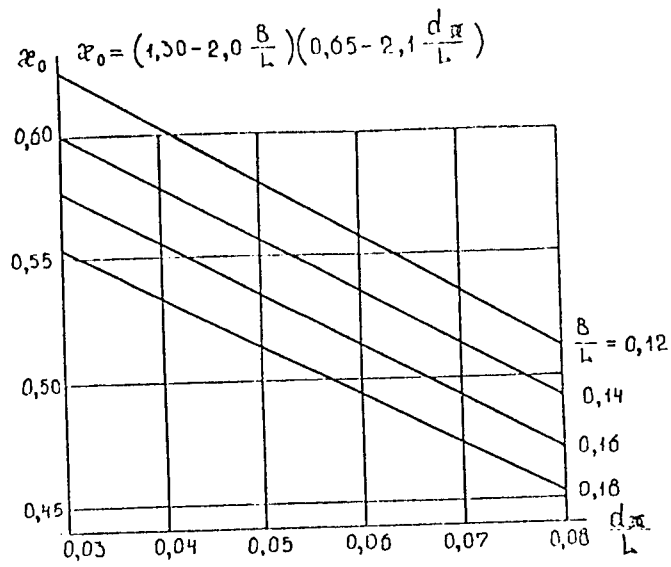


Рис. 2.1.2 - 2.

Значения α_0 и α_1 .

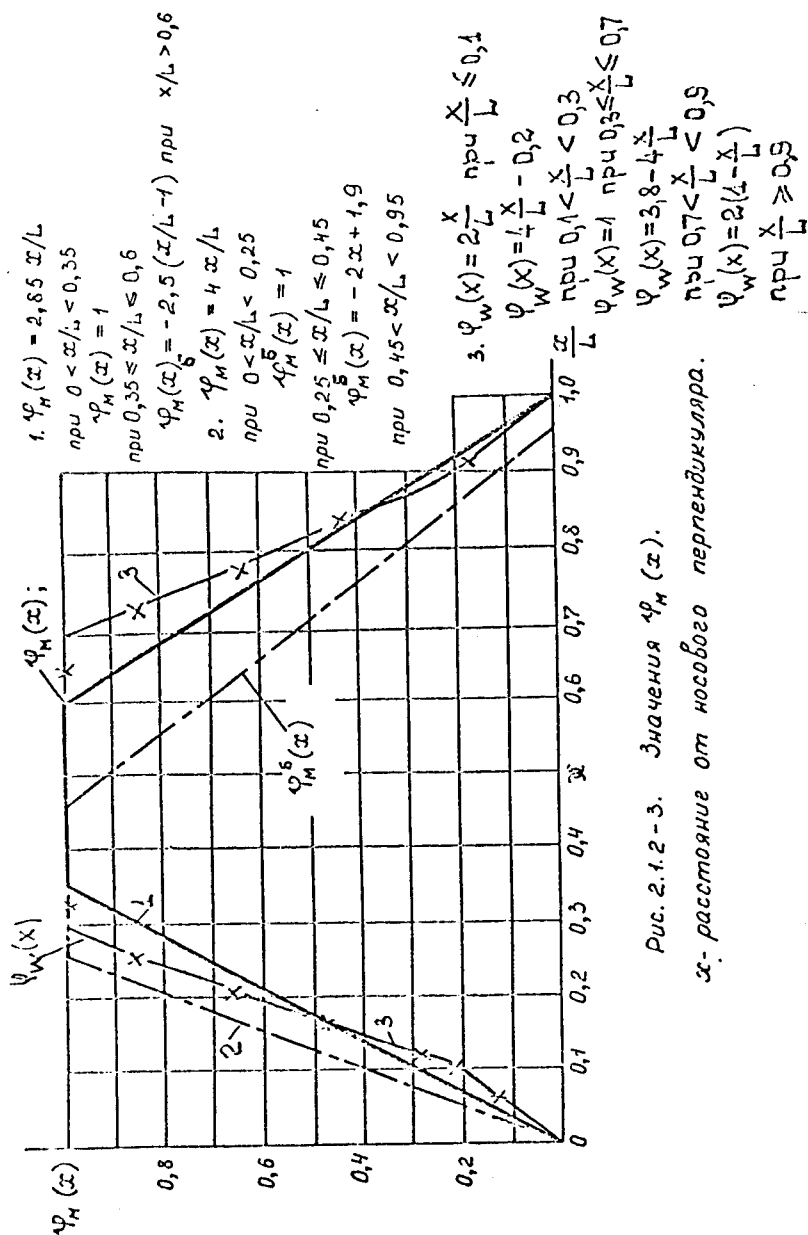


Рис. 2.1.2-3. Значения $v_M(x)$.

x - расстояние от носового перпендикуляра.

$$\frac{M_{тв}}{10 \Delta L} \leq 0,02.$$

Величина $M_{тв}$ при вычислении α , полагается равной значению этой составляющей изгибающего момента, осредненному в пределах средней части длины судна протяженностью $0,2L$.

$\varphi_m(x)$ учитывает изменение волнового изгибающего момента по длине судна (рис.2.1.2-3), x - расстояние от носового перпендикуляра судна.

2.1.3 Определение расчетных величин ударных изгибающих моментов производится применительно к случаям удара корпуса судна о волны днищем (M_y^A) и развалами (M_y^B) бортов носовой оконечности.

Величина M_y^A определяется по формуле

$$M_y^A = \frac{0,6}{\sqrt{C_s \bar{\rho}_m}} \cdot \frac{h_p}{L} \cdot \left(\frac{h_p}{L} - \frac{2d_m}{a_* L} \right) \cdot \bar{b}_2^{\frac{4}{3}} \cdot (\beta_2 a_*)^2 \cdot K_A(\bar{\tau}_y) \cdot (1 + 15 F_2^B) \times$$

$$x \frac{L}{10 d_x} \cdot B^2 L^2 \varphi_m(x) \geq 0, \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

(2.1.3-1)

Здесь h_p - расчетная высота волны, равная

$$h_p = 0,75 h_2; \quad (2.1.3-2)$$

h_2 - высота волны, определяемая в соответствии с рис.2.1.2-1;

a_* - параметр относительных (по отношению к поверхности волны) перемещений носовой оконечности в районе 2-го теоретического шпангоута;

$$a_* = K(C_s) \cdot (1,3 + 6,5 F_2^B) (2,4 - 1,75 \alpha) \left(0,70 + \frac{10 d_x}{L} \right) (0,30 + 3 \bar{\rho}_m),$$

(2.1.3-3)

* При $F_2^B > 0,2$ порядок определения M_{a_i} подлежит специальному согласованию с Регистром.

где

$$K(C_s) = 1 - 12(C_s - 0,67)^2 \geq 0,85 ,$$

$\bar{\rho}_m$ - относительная (отнесенная к длине L) величина продольного радиуса инерции масс судна при расчетном водоизмещении;

d_n - осадка носовой оконечности, определяемая по 2-му теоретическому шпангоуту (отстояние от носового перпендикуляра $x_2 = 0,1L$);

$\bar{b}_2 = \frac{b_2}{B}$, b_2 - ширина 2-го теоретического шпангоута при его осадке $d_y = 0,1B$ (рис.2.1.3-1);

β_2 - коэффициент полноты этого шпангоута при указанной осадке (рис.2.1.3-1);

$K_A(\bar{\tau}_y)$ - коэффициент динамичности, определяемый с помощью рис.2.1.3-2 в зависимости от параметра

$$\bar{\tau}_y = \frac{0,1(1 - 0,8\beta_2)\bar{b}_1}{1 + 2,5F_2^8} , \quad (2.1.3-4)$$

$\bar{\tau}_y$ - относительная (по отношению к полупериоду упругих колебаний корпуса 1-го тона) длительность действия ударной нагрузки;

$\bar{b}_1 = b_1 \sqrt{\frac{L}{g}}$, b_1 - частота упругих колебаний корпуса 1-го тона (определяется по данным расчетов общей вибрации); допускается приближенная оценка величины b_1 по формуле

$$b_1 = \frac{2\pi}{60} \frac{K \cdot 10^6}{\sqrt{1,2 + \frac{B}{3d_x}}} \sqrt{\frac{J_x}{\Delta \cdot L^3}} , \quad \frac{рад}{сек} , \quad (2.1.3-5)$$

где J_x - момент инерции миделевого сечения корпуса относительно нейтральной оси, $м^4$;

K - коэффициент, равный 4,0 для танкеров и 3,5 для сухогрузных судов и судов специального назначения.

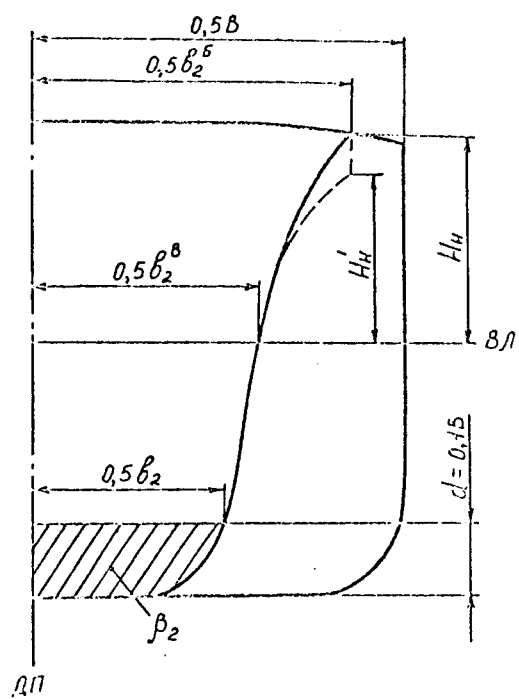
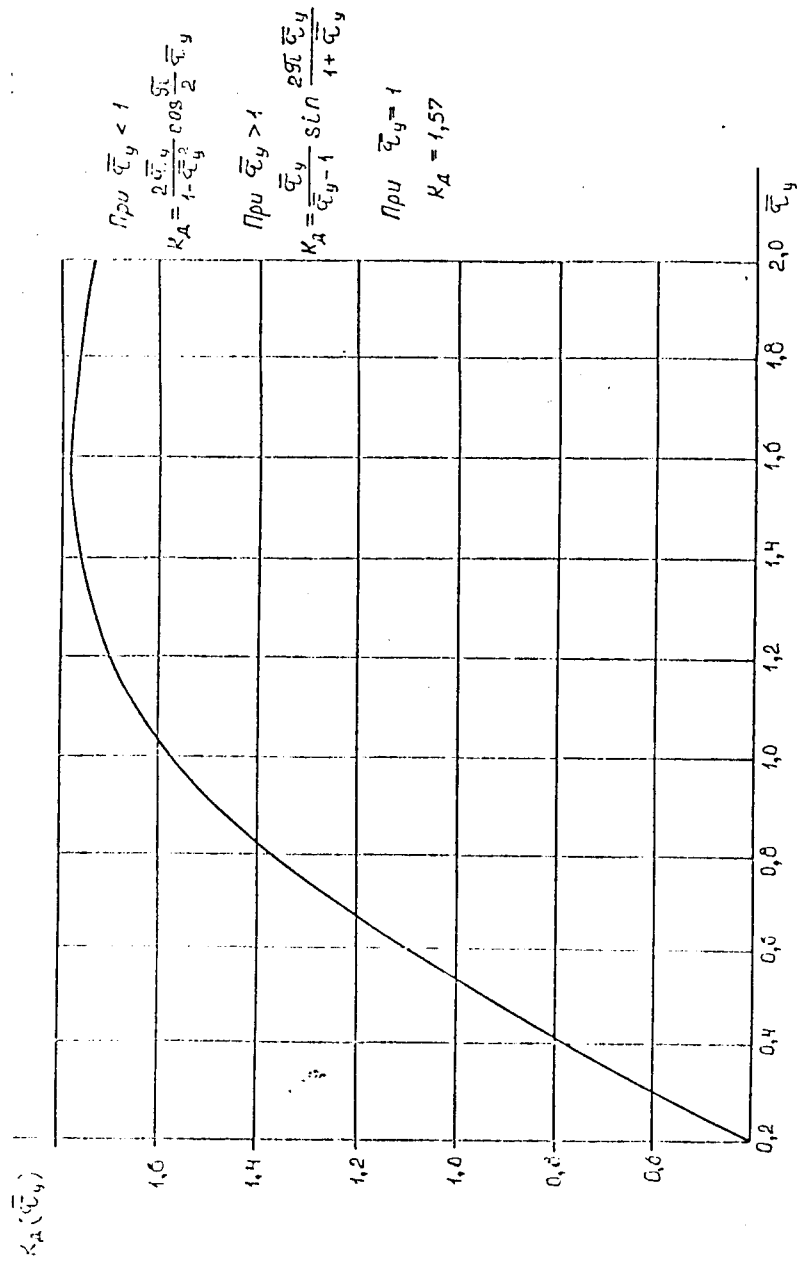


Рис. 2.1.3-1.
Параметры сечения по 2-му теоретическому
шпангоуту.



с. 2.1.3-2. Значения $K_A(\bar{\epsilon}_y)$.

Функция $\varphi_m(x)$ в (2.1.3-1) учитывает изменение изгибающего момента M_y по длине судна (см. рис. 2.1.2-3).

2.1.4 Величина M_y^6 определяется по формуле

$$M_y^6 = \frac{0,03}{\sqrt{C_a \cdot \rho_m}} \cdot \frac{h_p^2}{H_n} \alpha_*^2 (1 + 2,5 \Gamma_r^6)^2 \left[(\bar{b}_2^6)^{1,5} \sqrt{1 - \left(\frac{1,5 H_n}{h_p \alpha_*} \right)^2} - \right. \\ \left. - (\bar{b}_2^6)^{1,5} (\bar{b}_5^6)^{0,5} \right] B^2 L \varphi_m^6(x) \geq 0, \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.1.4-1)^*$$

В этом выражении, наряду с ранее использованными, приняты следующие обозначения:

H_n - высота надводного борта в районе 2-го теоретического шпангоута. При наличии излома бортов (рис. 2.1.3-1) высота H_n измеряется до этого излома (т.е. полагается $H_n = H_n'$);

h_p - согласно (2.1.3-2), но не более $h_p' = \frac{3,5}{\alpha_*} H_n$;

$\bar{b}_i = \frac{b_i}{B}$ - относительная ширина i -го теоретического шпангоута на уровне соответственно верхней кромки борта или линии его излома (индекс "Б") и действующей ватерлинии (индекс "В");

$\varphi_m^6(x)$ - функция, характеризующая изменение изгибающего момента M_y^6 по длине судна (рис. 2.1.2-3).

В случаях, когда $\bar{b}_2^6 < 1,2 \bar{b}_5^6$, расчет величины M_y^6 может не производиться.

2.1.5 Расчетные величины перерезывающих сил от переменных составных нагрузок определяются на основании зависимости

$$N_n = \frac{3,5}{L} \left[(M_{B_2} + 0,7 M_y^A) \varphi_N(x) + 1,2 M_y^6 \varphi_N^6(x) \right] \geq \frac{4}{L} M_{B_2} \varphi_N(x), \text{ кН}, \quad (2.1.5)$$

* При отрицательной величине подкоренного выражения или величины в квадратных скобках (2.1.4-1) следует считать $M_y^6 = 0$.

где $\varphi_N(x)$ и $\varphi_N^b(x)$ - учитывают изменение соответствующих составляющих перерезывающей силы по длине судна (рис. 2.1.5);

M_{B2} - см. (2.1.2-1), определяется на миделе;
 M_y^A и M_y^b - (см. 2.1.3-1 и 2.1.4-1) при $\varphi_m(x) = 1$.

2.1.6 Величина F_r^b в приведенных выше зависимостях должна соответствовать реально возможной максимальной скорости судна на встречном волнении с интенсивностью 7 баллов (высота волны 3 %-ной обеспеченности $h_{3\%} = 7 \div 8,5$ м) - при проверке усталостной прочности и 9 баллов ($h_{3\%} \approx 12 \div 15$ м) - при проверке предельной прочности корпуса.

При отсутствии соответствующих данных в первом приближении можно полагать:

при проверке усталостной прочности

$$F_{r1}^b = 0,125 F_r^0 \left[2,5 + 1,5 \left(\frac{L}{100} \right)^{2/3} \right], \quad (2.1.6-1)$$

при проверке предельной прочности

$$F_{r2}^b = 0,125 F_r^0 \left[1 + 1,5 \left(\frac{L}{100} \right)^{2/3} \right], \quad (2.1.6-2)$$

При определении волновых изгибающих моментов M_{B1} (2.1.2-1) значения F_2^b должны приниматься не превышающими значений F_{zp} , указанных на рис. 2.1.6.

2.1.7 Для судов ограниченного района плавания при определении волновых и ударных нагрузок по указанным выше формулам высоты расчетных волн, приведенные на рис. 2.1.2-1, уменьшаются пропорционально коэффициенту μ_1 , равному:

для эксплуатационных нагрузок обеспеченностью 10^{-5}	для максимальных нагрузок обеспеченностью 10^{-8}
$\mu_1 = 0,90 - 12L \cdot 10^{-4}$ при знаке I;	$\mu_2 = 1,0 - 15L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,83 - 16L \cdot 10^{-4}$ при знаке II;	$\mu_2 = 0,97 - 20L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,81 - 20L \cdot 10^{-4}$ при знаке II СП;	$\mu_2 = 0,95 - 25L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,72 - 30L \cdot 10^{-4}$ при знаке III.	$\mu_2 = 0,90 - 35L \cdot 10^{-4}$

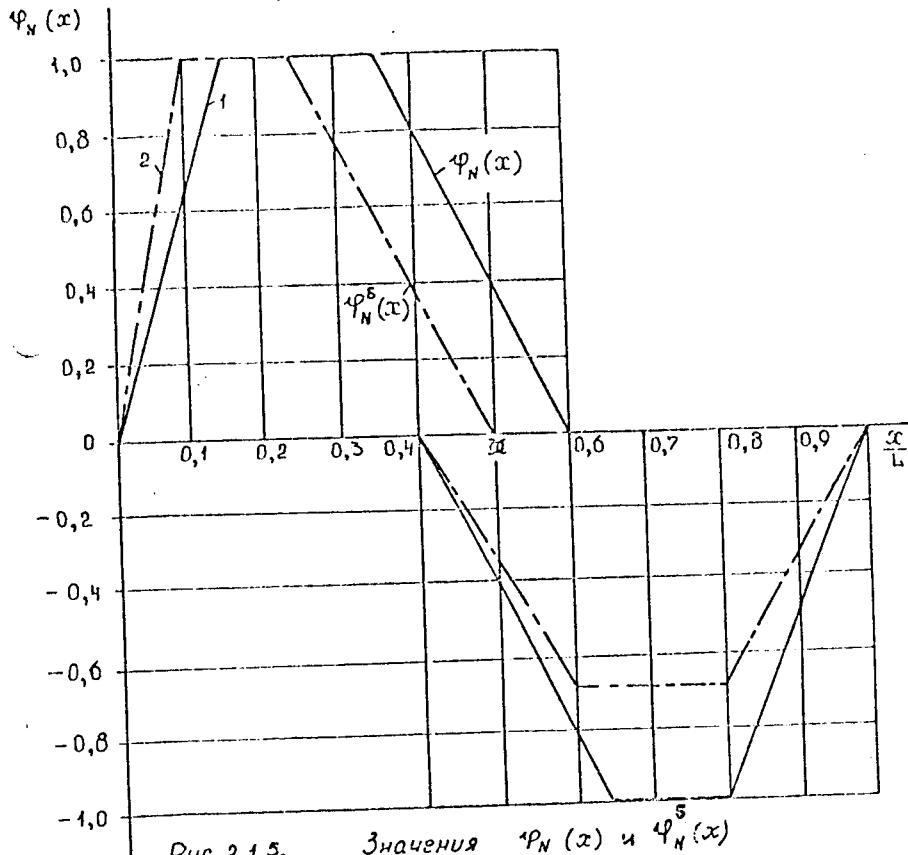


Рис. 2.1.5. Значения $\varphi_N(x)$ и $\varphi_N^5(x)$

x -расстояние до носового перпендикуляра.

Примечание. В районе модели из двух возможных различающихся знаками величин $\varphi_N(x)$ и $\varphi_N^5(x)$ берется та, которая соответствует знаку статической составляющей перерезающей силы $N_{Т.В.}^{max}(x)$.

1 - $\varphi_N(x) = 0,867 x/L$	при $0 < x/L < 0,15$
$\varphi_N(x) = 1$	при $0,15 \leq x/L \leq 0,35$
$\varphi_N(x) = -4x/L + 2,4$	при $0,35 < x/L < 0,6$
$\varphi_N(x) = -4(x/L - 0,4)$	при $0,4 < x/L < 0,65$
$\varphi_N(x) = -1$	при $0,65 \leq x/L \leq 0,8$
$\varphi_N(x) = 5(x - 1)$	при $0,8 < x/L < 1$
2 - $\varphi_N^5(x) = 10x/L$	при $0 < x/L < 0,1$
$\varphi_N^5(x) = 1$	при $0,1 \leq x/L \leq 0,25$
$\varphi_N^5(x) = -4x/L + 2$	при $0,25 \leq x/L \leq 0,5$
$\varphi_N^5(x) = 3,5(x/L - 0,4)$	при $0,4 < x/L < 0,6$
$\varphi_N^5(x) = -0,7$	при $0,6 \leq x/L \leq 0,8$
$\varphi_N^5(x) = 3,5(x - 1)$	при $0,8 < x/L < 1$

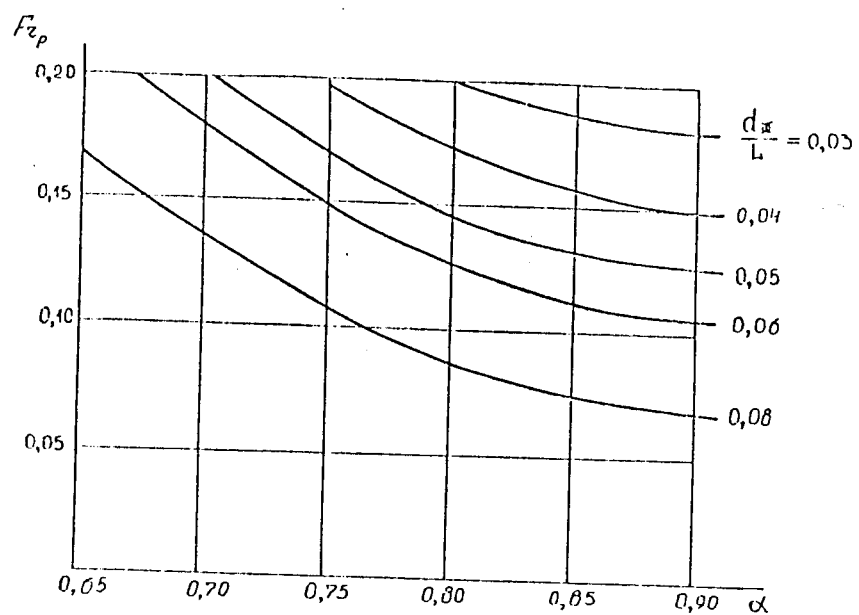


Рис. 2.1.6.

Значения F_{z_p} , ограничивающие расчетные значения F_{z_B}

$$F_{z_p} = 0,21 \left[1 - (\bar{d} - 0,25)^{2/3} \right] + \left[2,5 - 1,1 (\bar{d} - 0,25)^{1/2} \right] (0,9 - \alpha)^2,$$

где $\bar{d} = \frac{10 d_x}{L} \geq 0,25$; при $\alpha > 0,9$ следует принять $d = 0,9$.

2.I.8 При выполнении расчетов общей прочности с учетом действия горизонтального изгибающего M_r и крутящего M_k моментов, которые могут выполняться по специальным методикам (см. 2.2.10), рекомендуется определять эти составляющие волновых нагрузок по следующим расчетным выражениям:

$$M_r = 0,35 h_r \left(1 - 4 \frac{d}{L}\right) \frac{d}{B} B L^2 \varphi_r(x), \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2.I.8-I)$$

где h_r - высота расчетной волны при определении M_r ;

$$\varphi_r(x) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L}\right),$$

x - отстояние от кормового перпендикуляра.

$$M_k = \sqrt{M_{k1}^2 + M_{k2}^2}, \quad (2.I.8-2)$$

где

$$M_{k1} = \frac{1}{2} h_k B^2 L \left[K_1 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L}\right) - K_2 \sin \frac{3\pi x}{L} \right],$$

$$M_{k2} = \frac{1}{2} h_k B^2 L K_3 \sin \frac{2\pi x}{L},$$

h_k - высота расчетной волны при определении M_k ,

$$K_1 = 0,1 \left(1 - 8 \frac{d}{L}\right) \left(1 - 4 C_B \frac{B}{L}\right) \left[1 + 3,6 (C_B - 0,7)\right],$$

$$K_2 = \left(1 - 4 \frac{d}{L}\right) \frac{d}{L} \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{l}{B};$$

$$K_3 = 2K_2$$

l - вертикальное отстояние центра кручения корпуса до уровня $0,6 d$, измеряемого от дна судна.

В приведенных выше зависимостях волнение предполагается регулярным, распространяющимся навстречу судну под углом 60° к его курсовому углу. Длина волны λ равна половине длины судна. Приведенная длина этой волны на направлении движения судна $\lambda_{np} = \frac{\lambda}{\cos 60^\circ} = L$.

Высоты волн h_r и h_k , если нет других указаний, полагаются равными $0,6$ от расчетной высоты волн, принимаемой при определении

вертикального волнового изгибающего момента рассматриваемой обеспеченности (см. 2.1.2 и 2.1.7).

2.2. Критерии проверки прочности

2.2.1. Общая прочность корпуса проверяется:

а) по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности от многократного изгиба корпуса на волнении под действием волнового изгибающего момента M_B и изгибающего момента на тихой воде $M_{т.в.1}$;

б) по предельному состоянию на изгиб при действии максимально возможной алгебраической суммы расчетных значений волнового изгибающего момента $M_{в.2}$, изгибающего момента M_u от удара при погружении в волну днища или развалов носовой оконечности, а также изгибающего момента на тихой $M_{т.в.2}$ при прогибе и перегибе судна соответственно на вершине и подошве расчетной волны;

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

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

В случаях, оговоренных в 2.2.10, при проверке общей прочности может потребоваться также учет горизонтального изгибающего момента M_T и крутящего момента M_K .

Расчеты общей прочности по указанным выше критериям выполняются для всех наиболее неблагоприятных случаев загрузки, предусмотренных расчетами начальной остойчивости и посадки судна, при которых возможны наименьшие запасы прочности в проверяемых поперечных сечениях.

2.2.2. Проверка по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности производится в соответствии с зависимостью

$$\frac{K_B |M_{B.1}| + K_{т.в.1} |M_{т.в.1}|}{W'} 10^3 \leq \sigma_A \quad (2.2.2-1)$$

* Порядок определения величин $M_{т.в.1}$ и $M_{т.в.2}$ уточняется в 2.2.2 и 2.2.5.

В этом выражении:

W_1 - момент сопротивления проверяемого поперечного сечения корпуса, определяемый относительно его крайних по высоте жестких связей с учетом износа связей, к середине расчетного срока эксплуатации, см^3 (см. приложение)^{*};

M_{B1} - волновой изгибающий момент, кН.м, определяемый согласно зависимости (2.1.2-1) при $h_i = h_1$ (рис. 2.1.2-1);

$M_{T\delta 1}$ - величина $M_{T\delta}$, определяемая как наибольшая из возможных при реальном расположении груза величин, приводящих к растяжению^{**} связи, для которой определено W , кН.м;

K_B - коэффициент, учитывающий влияние высокочастотных напряжений:

$$K_B = 0,95 \left[1 + 0,04C \left(\frac{LF^B}{\psi D} \right)^2 \left(\frac{L}{200} \right)^{1,5} \right] \geq 1. \quad (2.2.2-2)$$

C - коэффициент влияния формы носовой оконечности, определяемый по следующим формулам:

при обычных обводах носовой оконечности (без бульба)

$$C = \alpha_n^2 (0,5 + 2 \sin \beta) \geq \alpha_n^2; \quad (2.2.2-3)$$

при бульбовой форме носовой оконечности

$$C = \alpha_n^2 (1 + \alpha_n^2), \quad (2.2.2-4)$$

α_n - коэффициент полноты носовой части летней грузовой ватерлинии (от носового перпендикуляра до киля);

β - угол между касательной к шпангоуту и вертикалью на уровне летней грузовой ватерлинии в сечении, расположенном на 0,1 L от носового перпендикуляра;

* Далее в тексте, если нет других указаний, рассматриваются значения W с учетом износа.

** Значения $M_{T\delta}$, вызывающие сжатие этой связи, должны рассматриваться, если по абсолютной величине они превышают значения $M_{T\delta}$, вызывающие растяжение, более чем в 1,4 раза.

$$\psi = \frac{W_{\Sigma}}{W_0},$$

где $W_0 = C_w B L^2 (C_g + 0,7), \text{ см}^3, \quad (2.2.2-5)$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{3/2} \leq 10,75,$$

W_{Σ} - величина W на миделе*, см^3 .

Коэффициент K_{TB1} в выражении (2.2.2-1) при определении W для растопутых на тихой воде продольных связей корпуса

$$K_{TB1} = 0,35 \left(\frac{|M_{TB1}|}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,7,$$

а для сжатых на тихой воде связей

$$K_{TB1} = 0,25 \left(\frac{|M_{TB1}|}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,50,$$

где $M_{TB}^* = 0,076 K_c W_0, \text{ кНм}, \quad (2.2.2-6)$

$$K_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} \leq 1.$$

Допускаемые напряжения

$$\sigma_A = 0,4 K_A \left[1 + 0,05 \left(\frac{L}{100} \right)^{1,5} \right] A K_z R_{en}, \quad (2.2.2-7)$$

где $K_A = 1$ - для верхних связей корпуса;

$K_A = 0,95$ - для одинарного дна;

$K_A = 0,90$ - для двойного дна;

$$A = 1 + \left[1 - \left(\frac{K_{TB1} \Delta M_{TB}}{2 M_{\Sigma}} \right)^{1,5} \right] \frac{K_{TB1} M_{TB1}}{M_{\Sigma}},$$

$$M_{\Sigma} = K_B |M_{B1}| + K_{TB1} |M_{TB1}|$$

* При различных значениях W для разных сечений в районе миделя, под величиной W_{Σ} понимается значение W , осредненное в пределах 0,4 L средней части длины судна.

- $\Delta M_{гв}$ - максимально возможное по абсолютной величине изменение изгибающего момента на тихой воде для рассматриваемого поперечного сечения корпуса в процессе эксплуатации судна;
- K_3 - коэффициент, учитывающий непропорциональность эксплуатационной (усталостной) прочности конструкций пределу текучести материала

$$K_3 = \frac{1}{1 + 0,50 \left(\frac{R_{гв}}{235} - 1 \right)^{1,5}} \quad (2.2.2-8)$$

2.2.3 При включении в эквивалентный брус корпуса надстроек, распределение напряжений по высоте которых не соответствует гипотезе плоских сечений, под величиной W' в левой части выражения (2.2.2-1) следует понимать соотношение

$$W' \approx \frac{M}{\sigma_{max}} \cdot 10^3, \text{ см}^3 \quad (2.2.3.1)$$

где M - расчетный изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении корпуса судна с надстройкой;

σ_{max} - соответствующее величине M значение наибольших в этом сечении нормальных напряжений, определенных по специальной методике, учитывающей действительную степень участия продольных связей надстройки в общем изгибе корпуса.

2.2.4 При применении для надстроек алюминиевых сплавов величина W , вычисленная по (2.2.3.1) с учетом влияния на напряжения в продольных связях надстройки модуля упругости материала, должна удовлетворять условию (2.2.2-1). При этом, в случае отсутствия других рекомендаций, следует полагать в выражении (2.2.2-7) $K_A = 0,9$, а в (2.2.2-8) $R_{гв} = 120 \text{ МПа}$.

2.2.5 Проверка общей прочности по предельному состоянию должна показывать, что как при прогибе, так и перегибе корпуса судна на волне в грузу и балласте отношение предельного изгибающего момента корпуса к наибольшему расчетному суммарному изгибающему моменту удовлетворяет условию

$$K_{\varphi} = \frac{M_{np}}{|M_{B2} + M_y + M_{TB2}|} \geq K_{min} \cdot K_K, \quad (2.2.5-1)$$

где M_{np} - предельный изгибающий момент для корпуса;

K_{min} - минимальный коэффициент запаса, равный:

1,15 - при прогибе,

1,25 - при перегибе;

M_{TB2} - величина $M_{T.B}$, выбираемая из реально возможных величин таким образом, чтобы абсолютная величина алгебраической суммы изгибающих моментов в выражении (2.2.5-1) при прогибе и перегибе корпуса достигала в рассматриваемом его поперечном сечении максимума;

K_K - коэффициент, равный:

при перегибающих $M_{T.B}$

$$K_K = 0,9 + 0,10 \frac{M_{TB2}}{M_{T.B}^*} \geq 1, \quad (2.2.5-2)$$

* ($M_{T.B}$ определяется зависимостью (2.2.2-6)

при прогибающих $M_{T.B}$ $K_K = 1$.

Величина M_y при прогибе судна на подошве расчетной волны

$$M_y = 0,7 M_y^A + M_y^B \geq 0,1 M_{B2}^{n.B}, \quad (2.2.5-3)$$

где M_y^A - определяется согласно (2.1.3-1);

M_y^B - находится согласно (2.1.4-1);

$M_{B2}^{n.B}$ - величина M_{B2} на подошве волны.

При перегибе судна на вершине расчетной волны во всех случаях полагается

$$M_y = 0,1 M_{B2}^{n.B}$$

2.2.6 Величина M_{np} в условии (2.2.5-1) определяется согласно зависимости

$$M_{np} = \sigma_T^H W_n' \cdot 10^{-3}, \text{ кНм}, \quad (2.2.6)$$

где W_n' - предельный момент сопротивления проверяемого поперечного сечения корпуса, определяемый относительно его крайних верхних жестких продольных связей с учетом износа связей к середине расчетного срока эксплуатации судна и редуцирования теряющих устойчивость гибких продольных связей под действием сжимающих напряжений от общего изгиба.

Величина W_n' определяется в предположении, что в крайних верхних связях, для которых он находится, напряжения от общего изгиба равны нормативному пределу текучести материала верхних связей $(\sigma_T^H)_B$. В случае, если устойчивость крайних верхних жестких продольных связей не обеспечена до напряжений, равных $(\sigma_T^H)_B$, то при их сжатии в выражение (2.2.6), а также (2.2.8) и (3.4.2.2-2) вместо $(\sigma_T^H)_B$ следует подставлять величину критических напряжений указанных связей $\sigma_{кр}$ (см. 2.3.7).

2.2.7 Предельный момент сопротивления корпуса с надстройкой определяется с учетом степени участия ее связей в продольном изгибе, оцениваемой специальным расчетом.

Для надстроек, выполненных из алюминиевых сплавов $\sigma_T^H = 0,9 R_{ен}$.

2.2.8 Наряду с (2.2.5-I) необходима дополнительная проверка условия

$$\frac{R}{|Z_H|} \geq \frac{\sqrt{K_{min}} \cdot K_K}{K_{\phi}} \cdot \frac{(\sigma_T^H)_B}{(\sigma_T^H)_H}, \quad (2.2.8)$$

где R - отстояние от нейтральной оси поперечного сечения корпуса его крайних по высоте верхних жестких связей при их растяжении на вершине расчетной волны (также с учетом износа и редуцирования связей);

Z_H - отстояние от нейтральной оси этого сечения от крайних нижних жестких связей (горизонтального кнм);

- $\gamma = 1,05$ - для судов с одинарным дном;
 $\gamma = 1,10$ - для судов с двойным дном;
 K_{ϕ} - фактический коэффициент запаса в соответствии с расчетом по формуле (2.2.5-1);
 $\frac{(\sigma_r^H)_B}{(\sigma_r^H)_H}$ - соотношение нормативных пределов текучести крайних продольных связей верхней палубы и днища (в случае их различия).

2.2.9 Проверка по предельному состоянию корпуса на срез производится согласно условию

$$\frac{N_{np}}{N_n + N_{т.в.}} \geq 1,2 \quad , \quad (2.2.9-1)$$

- где N_n - "переменная" составляющая перерезывающей силы, определяемая волновой и ударной составляющей внешних сил (см. 2.1.5);
 $N_{т.в.}$ - максимально возможная в рассматриваемом поперечном сечении корпуса перерезывающая сила от нагрузки судна на тихой воде;
 N_{np} - предельная величина перерезывающей силы для данного поперечного сечения корпуса, определяемая по формуле

$$N_{np} = 5 \cdot \sigma_r^H \cdot \Omega \cdot 10^{-2} \quad , \quad \text{кН} \quad , \quad (2.2.9-2)$$

где Ω - суммарная площадь поперечных сечений обшивки бортов и продольных переборок в сечении, для которого осуществляется проверка условия (2.2.9-1), см². При этом определение составляющих величин Ω производится исходя из площади нетто рассматриваемых вертикальных связей с учетом вырезов, уменьшающих площадь их поперечных сечений[§] и износа.

[§] Участки обшивки бортов и продольных переборок, контуры поперечных сечений которых имеют наклон к диаметральной плоскости судна $\alpha \neq 0$, включаются в площадь Ω пропорционально $\cos^2 \alpha$.

2.2.10 При проверке общей прочности судов, имеющих широко раскрытые палубные вырезы, суммарная ширина которых δ_o превышает 70 % общей ширины палубы, в соответствии с критерием эксплуатационной прочности (2.2.2-1) расчетные значения волновых изгибающих моментов увеличиваются пропорционально коэффициенту

$$K_{\Sigma 1} = 1 + m_L a \left(\frac{\delta_o}{B} - 0,70 \right), \quad (2.2.10-1)$$

где $m_L = 1$ при $L'_{np} = L \left(\frac{1,6D}{B} \cdot \frac{20d_{\Sigma}}{L} \right)^2 \leq 200 \text{ м.}$;

$$m_L = \left(\frac{L'_{np}}{200} \right)^{0,5} \text{ при } L_{np} > 200 \text{ м.}$$

$$a = 0,8 \left(\frac{C_n}{C_{cr}} \right)^{2/3} \leq 1,0 \text{ - для судов с одинарными бортами;}$$

$$a = 0,5 \left(\frac{C_n}{C_{cr}} \right)^{2/3} \leq 0,65 \text{ - для судов с двойными бортами;}$$

C_n - ширина поперечных междюковых переборок в указанном районе длины судна;

C_{cr} - ширина палубного стрингера (расстояние между бортом и ближайшей к борту продольной кройкой выреза).

Для концевых сечений открытой части верхней палубы принимаются наибольшие из указанных значений параметра a .

При выполнении расчетов напряжений в корпусе при действии крутящего и горизонтального изгибающего моментов, которые могут производиться по специальному указанию Регистра по согласованию с ним методики, результаты расчета учитываются в описанной выше схеме нормирования общей эксплуатационной прочности определением коэффициента $K_{\Sigma 1}$ в соответствии со следующей зависимостью:

$$K_{\Sigma 1} = 0,92 \sqrt{1 + 0,40 \left(0,85 + \frac{L}{600} \right)^2 (\bar{\sigma}_k + \bar{\sigma}_r)^2}, \quad (2.2.10-2)$$

но не менее $K_{\Sigma} = 1$,

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_B}; \quad \bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_B};$$

σ_k и σ_r - максимальные нормальные расчетные напряжения от кручения и горизонтального изгиба корпуса судна по продольным кромкам вырезов в пределах средней части длины корпуса, определяемые без учета местной концентрации напряжений;

σ_b - расчетные напряжения от вертикального изгиба корпуса волновым изгибающим моментом.

Напряжения σ_k и σ_r определяются по специальной методике в курсовом угле судна к расчетной волне $\varphi = 60^\circ$ и ее длине, равной половине длины судна ($\lambda = L \cos 60^\circ$). Высота расчетной волны при этом принимается равной $h_k = h_r = 0.6 h_b$, где h_b - расчетная высота волны, принятая при определении вертикального волнового изгибающего момента ($h_b = h_1$, рис.2.1.2-1).

Величина $\bar{\sigma}_r$ может быть приближенно найдена по формуле

$$\bar{\sigma}_r = \frac{12 d_{\text{ср}}}{L} \cdot \frac{W_n}{W_r}, \quad (2.2.10-3)$$

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

W_r - момент сопротивления корпуса при его изгибе в горизонтальной плоскости, определяемый относительно ближайших к борту продольных кромок палубных вырезов.

2.2.11 При проверке общей прочности в соответствии с критерием (2.2.5-1) для судов с общей шириной палубных вырезов, превышающей 70 % общей ширины палубы, предельный изгибающий момент, определенный согласно выражению (2.2.6), уменьшается пропорционально коэффициенту

$$K_{\Sigma 2} = 1.05 \left[1 - \left(\frac{1.25 M_p^{\text{ср}}}{M_{np}^{\text{ср}}} \right)^{1.5} \right] \leq 1, \quad (2.2.11-1)$$

где $M_p^{\text{ср}}$ - расчетный изгибающий момент в опорных сечениях палубного стрингера в районе поперечных кромок палубных вырезов, вызванный опорными реакциями бортового перекрытия от действующих на него внешних нагрузок при высоте расчетной волны h_2 (рис.2.1.2-1) (внутреннее противодействие груза не учитывается);

$M_{пр}^{ст}$ - предельный изгибающий момент для палубного стрингера, рассматриваемого в виде балки, работающей на изгиб в своей плоскости.

$M_{пр}^{ст}$ определяется по формуле

$$M_{пр}^{ст} = \sigma_T W_{пр}^{ст} \cdot 10^{-3}, \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (2.2.11-2)$$

Здесь $W_{пр}^{ст}$ - предельный момент сопротивления палубного стрингера, определяемый с учетом присоединенных поясков бортовой обшивки и внутреннего борта (в случае его наличия), см^3 .

Ширина присоединенных поясков принимается равной $b_s = \frac{1}{12} l_{ст}$,

где $l_{ст}$ - длина свободного пролета палубного стрингера.

Внешние нагрузки, определяющие величину $M_{пр}^{ст}$ находятся в соответствии с рекомендациями пп.3.3.1.1 и 3.3.1.2 при высоте расчетной волны $h_1 = h_2$.

2.2.12 Для корпусов судов, не имеющих широко раскрытые палубные вырезы, а также замкнутого типа с приведенной длиной

$$L_{пр}'' = L \left(\frac{1,60}{\delta} \cdot \frac{20d}{L} \right)^3 > 200 \text{ м}$$

выполняется оценка величины $K_{\Sigma 1}$ согласно (2.2.10-2) при $\bar{\sigma}_k = 0$ и $\bar{\sigma}_r$ по (2.2.10-3). При $K_{\Sigma 1} > 1,0$ учет этого коэффициента в расчетах общей прочности производится в соответствии с указанным в 2.2.10.

2.2.13 В случаях, когда удовлетворяющий приведенным выше критериям общей прочности расчетный момент сопротивления нового корпуса судна

W_n^p (без учета износа) оказывается меньше

$$W_{min} = \frac{235}{\sigma_T} W_0 \varphi_w(x) \mu_1, \quad (2.2.13-1)$$

где W_0 - определяется по (2.2.2-5);

$\varphi_w(x)$ - см. рис. 2.1.2-3;

μ_1 - см. 2.1.7,

момент сопротивления нового корпуса должен приниматься не менее большей из следующих величин:

$$W_n > \frac{1}{2} (W_n^P + W_{min}) ,$$

$$W_n > 0,95 W_{min} , \quad (2.2.13-2)$$

где

$$W_n^P = W_n' + \Delta W_{min};$$

W' — момент сопротивления, удовлетворяющий условиям (2.2.2-I) и (2.2.5-I);

ΔW — изменение момента сопротивления нового корпуса W_n^P в результате учета износа (см. приложение).

2.3 Выбор расчетных поперечных сечений корпуса и определение их элементов. Требования к устойчивости

2.3.1 Проверка общей прочности должна производиться в районе миделя и других поперечных сечений, в которых можно ожидать наименьшие запасы прочности.

2.3.2 Момент сопротивления сечений корпуса, как правило, определяется:

для расчетной палубы — для точек теоретической палубной линии у борта (линейной кромки палубного стрингера);

для днища — для теоретической основной линии корпуса (верхней кромки горизонтального кила).

При вычислении момента сопротивления поперечного сечения должны учитываться все непрерывные продольные связи днища, борта и палубы. Карлинги, стрингеры и другие продольные балки палубы, днища и борта включаются в сечение полностью, если они непрерывны по длине на расстоянии не менее четырех собственных высот в нос и в корму от расчетного сечения, а их соединения со смежными непрерывными жесткими конструкциями обеспечивает совместное деформирование продольных связей в составе корпуса. В необходимых случаях по требованию Регистра выполнение последнего условия должно быть подтверждено расчетом, выполненным по согласованной методике.

2.3.3 При использовании в стальных корпусах судов конструкций из алюминиевых сплавов, участвующих в общем изгибе, площади поперечных сече-

ний продольных связей таких конструкций должны учитываться в составе эквивалентного бруса с редуцированными коэффициентами, равными отношению модулей нормальной упругости сплава и стали.

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

Для одноярусных надстроек постоянного по длине сечения, а также рубок, опирающихся не менее чем на три поперечные переборки, допускается приближенный учет в составе эквивалентного бруса их продольных связей в соответствии с рис. 2.3.4 а), а именно: площади сечения стенок и продольных переборок включаются пропорционально расстоянию от конца надстройки под углом 15° , а площадь сечения палубы — под углом α , который определяется по формуле

$$\alpha = \arg \operatorname{tg} \sqrt{\frac{\delta_{\text{ст}} + \delta_n}{14t}}, \quad (2.3.4)$$

где t — толщина палубы надстройки;

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

δ_n — суммарная толщина внутренних продольных переборок.

Формула (2.3.4) относится к случаю, когда продольные переборки не имеют часто расположенных оконных и других вырезов шириной, большей расстояния между вырезами.

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

$$\psi = \sqrt{\Psi},$$

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

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

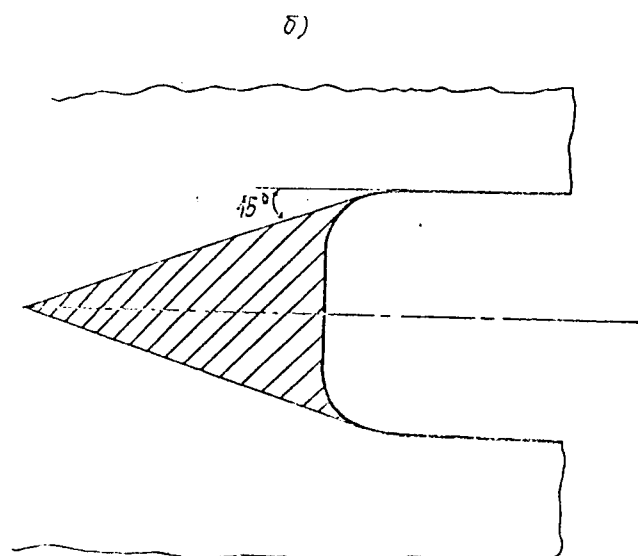
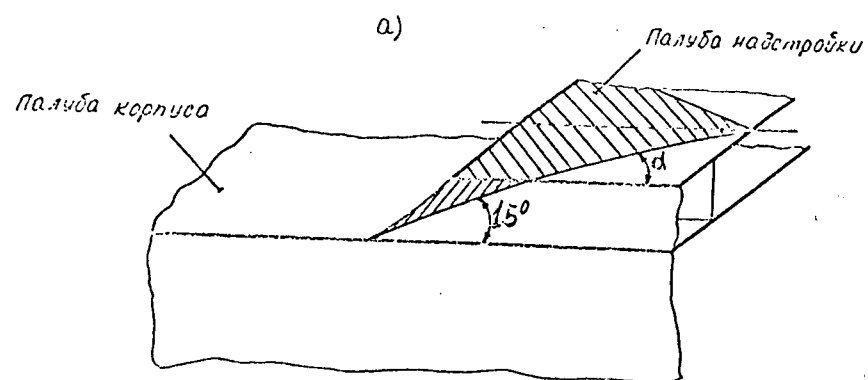


Рис. 2.3.4
Включение связей в эквивалентный брус.

///// - не включаемые связи

2.3.5 Учет вырезов в продольных связях корпуса при определении элементов эквивалентного бруса производится в соответствии с принятым в Правилах Регистра. Связи у поперечных кромок выреза исключаются согласно рис. 2.3.4 б.

2.3.6 При непрерывной конструкции комингсов грузовых люков их учет при выполнении расчетов общей прочности производится по специальной методике, одобренной Регистром.

При однорядной схеме расположения грузовых люков, если обеспечены условия, оговоренные в 2.3.2, допускается считать комингсы полностью включенными в состав поперечного сечения корпуса. При этом расчетные моменты сопротивления корпуса W для верхних кромок комингса рассчитываются путем деления момента инерции поперечного сечения корпуса относительно его горизонтальной нейтральной оси на величину Z_T , определяемую по формуле

$$Z_T = Z_K \left[0,9 + 0,2 \frac{y}{B} \right] \geq Z_{BK} \quad , \quad (2.3.6)$$

где Z_K - расстояние от нейтральной оси до верхней кромки продольного комингса, см;

Z_{BK} - расстояние от нейтральной оси до верхней кромки борта, см;

y - расстояние от диаметральной плоскости корпуса до стенки комингса, м.

2.3.7 Устойчивость продольных элементов конструкции корпуса при сжимающих напряжениях от общего изгиба должна проверяться путем сравнения критических (исправленных эйлеровых) напряжений $\sigma_{кр}$, определенных с учетом уменьшения модуля нормальной упругости (рис. 2.3.7-1 и 2.3.7-2), и износа связей к середине расчетного срока службы с расчетными сжимающими напряжениями, вычисляемыми по следующей формуле:

$$\sigma_c = \sigma_{кр} \frac{\lambda_{min}}{\lambda_{\phi}} \cdot \frac{|Z|}{R} K_K \leq \sigma_T \quad (2.3.7-1)$$

где R - расстояние от нейтральной оси крайних верхних продольных связей корпуса, определяющее величину W'_n (2.2.6);

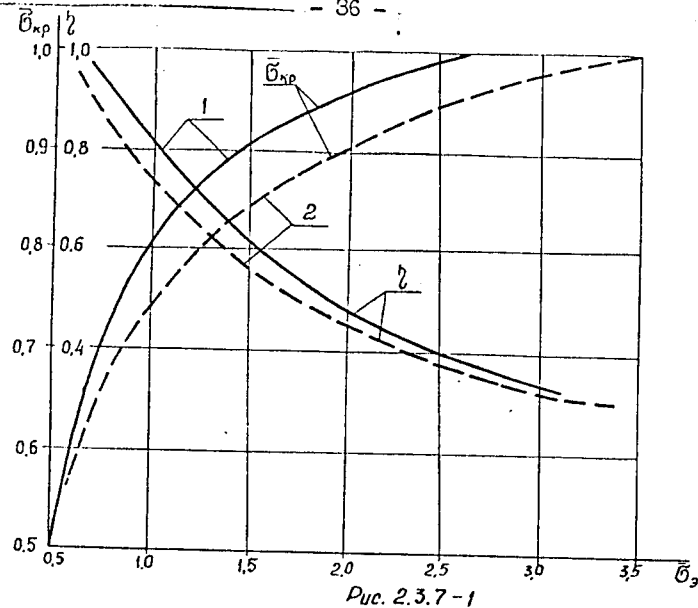


Рис. 2.3.7-1

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

$\bar{\sigma}_з$ - теоретическое эйлерово напряжение, $\bar{\sigma}_з = \frac{\sigma_z}{\sigma_T}$;

$\bar{\sigma}_{кр}$ - критическое (исправленное эйлерово) напряжение,

$$\bar{\sigma}_{кр} = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_T} ; \quad \lambda = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_z} ;$$

$$1 - \text{ для стали } \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,12 - \frac{0,312}{\bar{\sigma}_з} & \text{при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_з < 2,6 \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_з & \text{при } \bar{\sigma}_з < 0,6 \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_{кр} = 1 \quad \text{при} \quad \bar{\sigma}_з \geq 2,6 .$$

$$2 - \text{ для алюминия } \begin{cases} \bar{\sigma}_{кр} = 1,31 - \frac{0,57}{\sqrt{\bar{\sigma}_з}} & \text{при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_з < 3,4 . \\ \bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_з & \text{при } \bar{\sigma}_з < 0,5 , \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_{кр} = 1 \quad \text{при} \quad \bar{\sigma}_з \geq 3,4 .$$

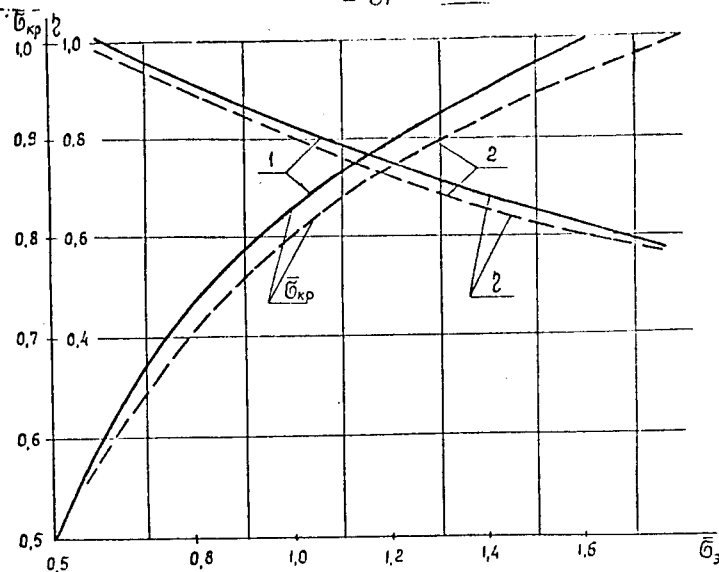


Рис. 2.3.7 - 2

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

$$\bar{\sigma}_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_T} ; \quad \bar{\sigma}_{kp} = \frac{\sigma_{kp}}{\sigma_T} ; \quad \bar{\tau} = \frac{\tau_{kp}}{\sigma_3} ;$$

$$1 - \text{для стали} \quad \begin{cases} \bar{\sigma}_{kp} = 1,63 - \frac{0,8}{\sqrt{\bar{\sigma}_3}} & \text{при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_3 < 1,6. \\ \bar{\sigma}_{kp} = \bar{\sigma}_3 & \text{при } \bar{\sigma}_3 < 0,6 \\ \bar{\sigma}_{kp} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_3 \geq 1,6 \end{cases}$$

$$2 - \text{для алюминия} \quad \begin{cases} \bar{\sigma}_{kp} = 1,94 - \frac{1,14}{\sqrt[3]{\bar{\sigma}_3}} & \text{при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_3 < 1,8 \\ \bar{\sigma}_{kp} = \bar{\sigma}_3 & \text{при } \bar{\sigma}_3 < 0,5 \\ \bar{\sigma}_{kp} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_3 \geq 1,8 \end{cases}$$

Примечание: Приведенные на этом рисунке данные могут быть использованы также для оценки критических значений касательных напряжений листовых элементов конструкций τ_{kp} . При этом вместо $\bar{\sigma}_3$ и $\bar{\sigma}_{kp}$ вводятся соотношения

$$\bar{\tau}_3 = \frac{\tau_3}{\tau_T} \quad \text{и} \quad \bar{\tau}_{kp} = \frac{\tau_{kp}}{\tau_T}$$

$\tau_T = 0,57 \sigma_T$ - предел текучести стали по касательным напряжениям.

- $\bar{z}$ - то же для центра тяжести поперечного сечения рассматриваемой связи;
- K_{min} - минимальный коэффициент запаса, требуемый согласно критерию (2.2.5-1) при направлении вертикального изгиба корпуса, вызывающем сжатие рассматриваемой группы связей;
- K_{φ} - фактический коэффициент запаса, обеспеченный по этому критерию при данном направлении изгиба, приводящему к сжатию рассматриваемой связи*;
- $\sigma_{кр}^b$ - критические напряжения верхних жестких продольных связей корпуса;
- K_k - см. (2.2.5-2).

При определении σ_c по (2.3.7-1) для связей, расположенных ниже нейтральной оси корпуса, величина $\sigma_{кр}^b$ полагается равной σ_T^b верхних связей.

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

$$\sigma_{кр} \geq K_c \sigma_c, \quad (2.3.7-2)$$

где $K_c = 1$ - для балок продольного набора и перекрытий в целом;

$K_c = 0,80$ - для листовых элементов ширстрека, стрингера верхней палубы, горизонтального киля и скулового пояса;

$K_c = 0,60$ - для прочих листовых элементов корпуса, включаемых в состав эквивалентного бруса.

При этом критические напряжения для балок продольного набора и перекрытий верхней расчетной палубы должны составлять не менее $0,9 \sigma_T^b$, а для его настила - не менее $0,5 \sigma_T^b$.

2.3.8 Устойчивость продольного набора надстроек, устанавливаемых в об-
ном изгибе не полностью, должна быть обеспечена до напряжений в этих

* Неизвестная в начале расчета величина K_{φ} определяется последовательными приближениями. При этом в первом приближении $K_{\varphi} = K_{min}$.

связях, соответствующих действующему в рассматриваемом сечении наибольшему суммарному прогибающему изгибающему моменту на подошве расчетной волны в соответствии с выражением (2.2.5-1), умноженному на коэффициент запаса 1,15, принимаемый при проверке предельной прочности согласно указанному выражению.

2.3.9 В случае, если предельная прочность корпуса судна на подошве волны обеспечивается без участия надстройки, устойчивость ее продольного набора может доводиться только до напряжений, соответствующих наибольшему суммарному прогибающему изгибающему моменту согласно (2.2.5-1).

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

Редуцируемые части гибких связей вводятся в расчет с редуцированным коэффициентом

$$\psi = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{сж}}, \quad (2.3.10)$$

где $\sigma_{сж}$ - действующие в жестких связях сжимающие напряжения от общего изгиба (абсолютные величины);

$\sigma_{кр}$ - критические напряжения гибких связей (см. 2.3.7).

При поперечной системе набора жесткость поперечных балок (бимсов) должна быть доведена до критической, при которой потеря устойчивости гибких связей (пластин) происходит без смещения балок в своей плоскости. В случае, если последнее условие не обеспечивается, порядок редуцирования гибких связей подлежит специальному согласованию с Регистром.

3 Местная прочность

3.1 Опасные и допускаемые состояния

3.1.1 Опасными состояниями конструкций являются: нарушения их формы или нарушения целостности, препятствующие нормальной эксплуатации и приводящие к необходимости ремонтного восстановления конструкций.

Достижение возможности достижения указанных состояний при нормальной работе конструкции и соблюдении необходимых требований к качеству материала и изготовлению конструкций достигается, если расчетные нагрузки, либо возникающие ими напряжения (деформации) удовлетворяют приведенным ниже нормативным ограничениям.

3.1.2 При нормировании местной прочности по напряжениям учитывается характер распределения напряжений в конструкции. По этому признаку различают: распределение напряжения - действующие в значительной части объема или площади поперечного сечения конструкции и могущие в случае превышения ими опасной величины привести к разрушению или недопустимой деформации всей конструкции; локальные напряжения - действующие лишь в незначительной части объема или площади поперечного сечения, которые могут в случае превышения ими опасной величины привести только к местным деформациям, не сопровождающимся разрушением или значительными деформациями конструкции.

Уровень допускаемых напряжений в первом случае обычно ниже, чем во втором.

3.1.3 Требования к прочности конструкций и их элементов сформулированы в виде:

коэффициентов допускаемых напряжений при расчете в упругой области

$$K_G = \frac{\sigma_A}{\sigma_T} ; \quad K_T = \frac{\tau_A}{\tau_T} ;$$

где σ_A - минимальная проектная прочность при растяжении и сжатии;
 σ_T - минимальная проектная прочность при растяжении и сжатии

$$K_n = \frac{Q_n}{Q}$$

где σ_A - допускаемые напряжения для расчетных нормальных напряжений в конструкции;

- τ_A - допускаемые напряжения для расчетных касательных напряжений в конструкции;
- Q_n - предельная нагрузка для рассматриваемой конструкции, вычисленная при нормативном пределе текучести σ_T ;
- Q - расчетная нагрузка для рассматриваемой конструкции, определяемая по Нормам.

В отдельных случаях, определяемых условиями эксплуатации конструкций, могут предусматриваться также требования к их жесткости, предоставляемые обычно в форме ограничений прогибов элементов конструкций под действием максимальных расчетных нагрузок.

3.1.4 При практическом расчете балок и балочных конструкций с учетом приводимых нормативных требований эффект суммарного воздействия на прочность проверяемых сечений одновременно действующих в них компонентов усилий - изгибающего, сдвигающего и продольного - учитывается, если в тексте Норм или используемых методиках расчета указываются соответствующие нормативы прочности.

В сечениях связей, рассчитываемых в упругой стадии, где одновременно действуют нормальные σ и касательные τ напряжения, эффект их суммирования может быть оценен по величине "приведенных" нормальных напряжений

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}. \quad (3.1.4)$$

При расчете предельной нагрузки порядок суммирования различных составляющих усилий оговаривается в принятой методике расчета.

3.1.5 Устойчивость элементов тонкостенных балочных конструкций в условиях действия сжимающих и касательных напряжений, если требования к ней специально не оговорены, должна быть обеспечена:

- при расчете конструкций в упругой стадии - не менее чем до расчетных напряжений;
- при расчете по предельному состоянию - до предела текучести материала R_{en} .

При этом должно учитываться влияние отклонения деформаций материала от закона Гука (см. рис. 2.3.7-1 и 2.3.7-2) и эффект совместного действия нормальных и касательных напряжений.

Проверка выполнения указанного условия может производиться, если нет других обоснованных рекомендаций, путем определения величины приведенных эйлеровых напряжений

$$\bar{\sigma}_z^{np} = \frac{\sigma_z^e}{1 + \frac{\tau_z^e}{\sigma_z^e} \cdot \frac{\sigma_z^e}{\tau_z^e}} \quad (3.1.5)$$

где $\bar{\sigma}_z, \bar{\tau}_z$ - расчетные значения нормальных и касательных напряжений,

σ_z^e, τ_z^e - эйлеровы нормальные и касательные напряжения.

Критические значения нормальных напряжений находятся с помощью графиков рис.2.3.7-2. при $\bar{\sigma}_z = \bar{\sigma}_z^{np} = \frac{\sigma_z^{np}}{\sigma_z^e} \sqrt{1 + 3 \frac{\tau_z^e}{\sigma_z^e}}$.

3.1.6 Все расчеты местной прочности производятся с учетом износа связей к середине расчетного срока службы.

3.2 Требования к расчетным схемам.

3.2.1. Применение норм во всех случаях, если нет специальных указаний, предполагает привлечение для расчетов пластин, стержней, рам и перекрытий расчетных схем, отвечающих стандартным процедурам строительной механики, основанным на гипотезах "плоских сечений" и прямых нормалей.

При использовании метода конечных элементов предусматривается применение стержневой идеализации конструкций.

Сределяемые таким образом напряжения называются номинальными.

В случае применения других методов расчета напряжений порядок их нормирования подлежит специальному согласованию с Регистром. При этом должны приниматься во внимание:

- степень ответственности конструкций, опасность последствий нарушения их целостности и деформирования;
- полнота и точность учета факторов, оказывающих влияние на оценку прочности (степень достоверности при определении расчетных нагрузок, обоснованность и точность методик расчета, влияние способа и условий постройки на прочность, опыт эксплуатации аналогичных конструкций и т.п.).

3.2.2 Расчеты местной прочности должны подразделяться на следующие этапы:

- определение величин, характеристик и распределения расчетных нагрузок;
- определение величин расчетных напряжений (при расчете в упругой стадии) или предельных нагрузок (при расчете по предельным нагрузкам) конструкций^{*};
- сопоставление расчетных величин с требованиями Норм.

Все составные части расчета являются одинаково важными и к их точности и обоснованности предъявляются одинаковые требования, такие же, как и ко всему расчету в целом.

3.2.3 Расчеты должны быть доступны для исчерпывающей проверки всех заключающихся в них данных на всех стадиях расчета.

При использовании ЭВМ соответствующие алгоритмы и программы должны быть одобрены Регистром.

3.2.4 Моменты сопротивления и моменты инерции балок основного набора и рамных связей при выполнении расчетов по Нормам должны определяться с учетом присоединенного пояска, листа обшивки, толщина которого принимается равной толщине листа в рассматриваемом поперечном сечении. Ширина присоединенного пояска балок основного набора (шпангоутов, бимсов, продольных балок, стоек переборок и т.п.) принимается равной меньшей из величин, определяемых по формулам:

$$b_n = \frac{l}{6} ;$$
$$b_n = 0.5 (b_1 + b_2) ,$$

где l — пролет рассматриваемой балки набора между ее опорами;
 b_1 и b_2 — отстояния рассматриваемой балки набора от ближайших балок того же направления, расположенных по обе стороны от нее.

^{*} Как правило (за исключением особо оговоренных случаев), расчеты в упругой стадии выполняются на действии эксплуатационных нагрузок, а по предельным нагрузкам — при действии экстремальных нагрузок (см. (см.1.2.4)).

Ширина присоединенного полка рамных балок (карлижков, рамных бинсов, рамных стоек переборок, стрингеров и т.п.) определяется по формуле

$$b_n = \kappa b ,$$

где $b = 0,5 (b_1 + b_2) ;$

κ - коэффициент, определяемый по табл.3.2.4;

Таблица 3.2.4

Значения коэффициента κ

n	Отношение ℓ_0/b						
	1	2	3	4	5	6	7 и более
6	0,38	0,62	0,79	0,88	0,94	0,98	1,0
3	0,21	0,40	0,53	0,64	0,72	0,78	0,80

Примечание. Для промежуточных значений ℓ_0/b и n коэффициент κ определяется линейной интерполяцией.

ℓ_0 - приведенная длина пролета рассматриваемой балки;

n - число балок другого направления.

Значения ℓ_0 определяются по формуле

$$\ell_0 = \ell (1 - 0,4 \alpha_{cp}) ,$$

α_{cp} - среднее значение коэффициента опорной ширины для обеих концов рассматриваемой балки.

Балки основного набора, расположенные в пределах ширины расчетно-присоединенного полка рамной балки, включаются в состав ее поперечного сечения.

Площадь поперечного сечения стенок балок определяется с учетом вырезов в расчетном сечении (сечение нетто).

3.2.5 При расчете перекрытий, рам и неразрезных балок должны учитываться следующие общие положения.

Расчет прочности перекрытий и других балочных конструкций судового корпуса производится на основе представлений их в виде стержневых систем, работающих на изгиб, сдвиг и продольное нагружение.

Расчет прочности рассматриваемой конструкции должен производиться с учетом влияния прилегающих конструкций, обусловленного их жесткостью и нагрузкой.

При расчете перекрытий должно учитываться наличие дополнительных усилий взаимодействия, зависящих от типа силовой связи рассматриваемого перекрытия с другими конструкциями.

Направление стержней считается совпадающим с направлением нейтральных осей их поперечных сечений.

При определении линейных размеров стержней за точку их пересечения принимается точка пересечения их нейтральных осей.

При различном положении нейтральных осей балок одного направления устанавливается нейтральная плоскость системы балок, определяемая как среднее положение нейтральных осей данного направления.

Плоскость системы балок располагается от обшивки или настила на расстоянии C , определенном по формуле

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n J_i l_i C_i}{\sum_{i=1}^n J_i l_i},$$

где J_i — момент инерции поперечного сечения i -й балки с присоединенным пояском;

l_i — длина пролета балки с моментом инерции J ;

C_i — отстояние нейтральной оси балки от обшивки (настила).

Длина пролета стержней в этом случае измеряется как расстояние между линиями пересечения нейтральных плоскостей рассматриваемой системы балок и ближайших балок другого направления.

У балок с переменными по длине свободным пояском и (или) высотой стенки (в том числе и при наличии книц) должна учитываться переменность момента инерции поперечного сечения балки.

3.2.6 При расчете напряжений в балках, подкрепленных в районе опор кницами, удовлетворяющими требованиям Правил Регистра, допускается рассматривать балки как призматические. При этом в качестве проверяемых расчетных сечений выбираются сечения у концов кницы и посередине пролета. В случаях, когда концевые сечения балки имеют защемления, близкие к полному, расчет напряжений посередине ее пролета может производиться при сокращенной расчетной длине пролета, равной расстоянию между сечениями посередине длины книц.

Расчет предельной прочности зашеченных по концам балок, подкрепленных кницами, удовлетворяющими указанным требованиям, производится при расчетной длине пролета, равной расстоянию между концами книц.

3.2.7 Определение предельных нагрузок перекрытий может быть выполнено с применением методов теории предельного равновесия при жестко-пластической идеализации материала.

Для связей корпуса, подверженных совместному воздействию изгибающих моментов от местной поперечной нагрузки и значительных усилий растяжения - сжатия от общего изгиба корпуса, должно быть учтено их общее влияние на величину предельной нагрузки.

Для связей, испытывающих воздействие больших перерезывающих сил, следует иметь в виду, что расчетной предельной нагрузкой может быть предельная нагрузка, связанная с появлением шарниров сдвига в местах действия наибольших перерезывающих сил.

3.2.8 Расчеты выполняются для состояния конструкций с учетом износа к середине срока службы. При проверке местной прочности нового корпуса по настоящим Нормам принятые (строительные) толщины элементов листовых конструкций должны быть предварительно уменьшены на величину ΔS (запас на износ для половины проектируемого срока службы), а моменты сопротивления стандартных профилей - в соответствии с разделом 2 приложения.

При определении строительных толщин связей нового корпуса к толщинам, полученным в результате применения Норм, следует добавить величину ΔS , а моменты сопротивления балок увеличить согласно указанному в приложении.

При отсутствии специальных данных о годовом уменьшении толщин связей корпуса вследствие износа для определения ΔS следует руко-

водствоваться рекомендациями, приведенными в приложении, где также указывается порядок учета износа для стандартных профилей балок.

Расчеты прочности корпусных конструкций, представляемые ОТК, должны содержать данные как о расчетных, так и об окончательно принятых строительных размерах свизей.

3.3 Расчетные нагрузки

3.3.1 Внешние нагрузки, вызванные воздействием моря.

3.3.1.1 Расчетное статическое давление в кПа определяется по формуле

$$P_{ст} = \rho_s g (d - z_i), \quad (3.3.1.1)$$

где z_i - отстояние точки приложения нагрузки от основной плоскости, м.

Для точек приложения нагрузки, находящихся выше расчетной ватерлинии, величина $P_{ст}$ принимается равной нулю.

3.3.1.2 Расчетное давление в кПа, обусловленное качкой судна на волнении, определяется:

на уровне расчетной ватерлинии

$$P_{в.о} = \rho_s g \frac{h_i}{2} a_v a_x, \quad (3.3.1.2-I)$$

где h_i - расчетная высота волны h_1 и h_2 , определяемая по графикам рис.2.1.2-I^ж.

Первая величина $h_i = h_1$ соответствует расчету на действие эксплуатационных нагрузок, вторая $h_i = h_2$ - экстремальных нагрузок.

$$a_v = 0,8 \frac{U_o}{\sqrt{L}} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right) K_v + 1,5 ;$$

$$K_v = 1 \quad \text{при} \quad h_i = h_1 ;$$

$$K_v = \frac{L}{10^3} + 0,55 \quad \text{при} \quad h_i = h_2 .$$

$$a_x = K_x \left(1 - \frac{2x_r}{L} \right) ,$$

* Для судов ограниченного плавания значения h_i уменьшаются в соответствии с указанием в 2.1.7.

x_n - расстояние рассматриваемого поперечного сечения корпуса от ближайшего к нему перпендикуляра (носового или кормового);

$K_x = 1,25$ - для поперечных сечений в нос от миделя;

$K_x = 0,75$ - для поперечных сечений в корму от миделя.

В любом случае должно быть выполнено условие

$$a_y a_x \geq 1,15 ;$$

ниже уровня расчетной ватерлинии

$$P_B = P_{Bo} \left(1 - 5,5 \frac{d - z_i}{L} \right) , \quad (3.3.1.2-2)$$

но не менее $P_B = 0,55 P_{Bo}$;

- при определении волновых давлений на днищевое перекрытие в целом

$$P_B^A = P_{Bo} \cdot \alpha_o \left(\frac{B_1}{L} ; \frac{d}{L} \right) , \quad (3.3.1.2-3)$$

где α_o - определяется согласно рис.2.1.2-2 при $B = B_1$;

B_1 - ширина судна по действующей ватерлинии в рассматриваемом сечении;

выше уровня расчетной ватерлинии

$$P_B = K_B [P_{Bo} - \rho_B g (z_i - d)] ; \quad (3.3.1.2-4)$$

где $K_B = 1$ - для надводного борта;

$K_B = K_o \cdot K_A$ - для открытых палуб.

Величина K_o при определении местных давлений для расчета элементов конструкций (пластин, продольных ребер жесткости) принимается равной

$$K_o = 1 .$$

При определении средней по ширине перекрытия величины нагрузки P_0 для расчета бимсов либо перекрытия в целом K_0 принимается равным

$$K_0 = 0,70 . \quad (3.3.1.2-5)$$

Коэффициент K_A вычисляется согласно зависимости

$$K_A = 1,1 + \Delta_i \left(1 - \frac{2x_n}{L} \right)^2 , \quad (3.3.1.2-6)$$

x_n - расстояние до ближайшей оконечности корпуса, определяемое положением соответствующего ее перпендикуляра;

Δ_i - численный коэффициент, равный:

для носового перпендикуляра $\Delta_1 = 0,8$;

для кормового перпендикуляра $\Delta_2 = 0,4$;

Z_i - отстояние точки приложения нагрузки от основной плоскости, м.

В любом случае для района выше расчетной ватерлинии расчетное давление в кПа не должно приниматься меньше

$$P_{в. min} = 3 \frac{L}{100} + 3,5 . \quad (3.3.1.2-7)$$

Характер изменения нагрузки P_0 по контуру поперечного сечения корпуса представлен на рис.3.3.1.2.

3.3.2 Давления в носовой части судна при ударах волн в днище и развальных бортов.

3.3.2.1 Наибольшие значения расчетных гидродинамических давлений в МПа при ударах волн в днище носовой оконечности судна определяется в рассматриваемых сечениях по следующей формуле:

$$P_A = 5,5 C_1 \cdot C_2 / M_1 \frac{\kappa(\alpha) b_x}{B} \left(1 - \frac{x}{l_q} \right) \quad (3.3.2.1)$$

Здесь $C_1 = \sqrt{L}$ при $L \leq 200$ м ;

$C_1 = 5 \sqrt{10 - \frac{L}{100}}$ при $L > 200$ м ;

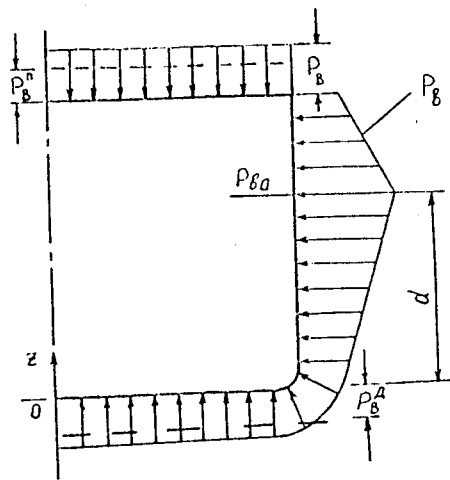


Рис. 3.3.1.2

Характер изменения нагрузки P_B по контуру поперечного сечения судна.

$$C_2 = 0,16 \frac{U_0}{\sqrt{L}} \left(1 - \frac{18 d_1}{L} \right);$$

d_1 - осадка судна в сечении на $0,1L$ в корму от носового перпендикуляра ($d_1 \leq 0,055L$);

b_x - ширина судна в рассматриваемом поперечном сечении на уровне $0,04B$ от основной плоскости, но не более $0,8B$, м;

x - отстояние рассматриваемого поперечного сечения корпуса от носового перпендикуляра ($x \leq l_q$), м;

$l_q = (0,1 + 1,5 C_2) L$ - протяженность по длине судна в корму от носового перпендикуляра области действия гидродинамических давлений при ударе волн в днище, м;

$K(\alpha) = 2,5 - 2\alpha$ при $\alpha \geq 0,75$; $K(\alpha) = 1$ при $\alpha \leq 0,75$;

α - коэффициент полноты действующей ватерлинии при осадке, для которой производится расчет;

μ_1 - параметр влияния ограничения района плавания (см. 2.1.7).

Действие гидродинамических давлений, определяемых по формуле (3.3.2.1), распространяется на высоту $0,04B$ от линии килля.

Соответствующая величине P_d расчетная нагрузка на днищевое перекрытие в целом принимается распределенной в виде колокола с максимальной его ординатой согласно (3.3.2.1) и рис. 3.3.2.1 с синусоидальной формой образующей и диаметром основания, равным одной теоретической шпации ($\frac{L}{20}$), но не более ширины перекрытия в рассматриваемом поперечном сечении.

3.3.2.2 Наибольшие значения расчетных гидродинамических давлений в P_d при ударах волн в развал борта определяются по формуле

$$P_d = 1,1 \rho_a C_3 C_4^2 \mu_1 \cdot 10^{-3}, \quad (3.3.2.2)$$

где

$$C_3 = 2,2 + 1,5 \operatorname{tg} \alpha_x;$$

$$C_4 = \left(0,6 - 0,2 \frac{100}{L} \right) \left(1,2 - 0,2 \frac{\beta_x}{60} \right) U_0 \sin \beta_x + 0,2 \sqrt{g L_p};$$

α_x - угол в град., измеряемый в рассматриваемом поперечном сечении корпуса между вертикалью и линией, соединяющей точку пересечения летней грузовой ватерлинии и верхней открытой палубы с бортом судна (рис. 3.3.2.2-1);

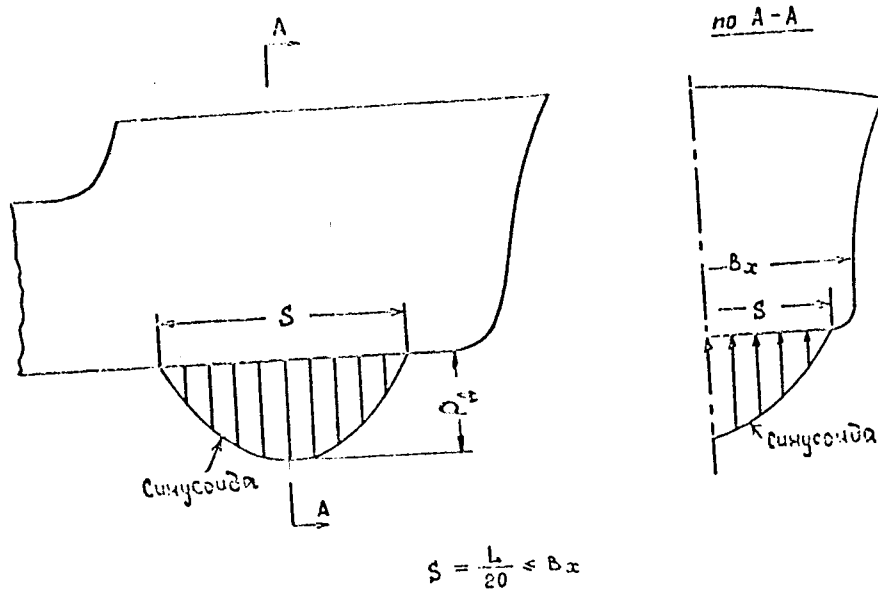


Рис. 3.3.2.1

Форма расчетной нагрузки на днище ^{всех} перекрытий
от воздействия гидродинамических давлений при
ударах о волны.

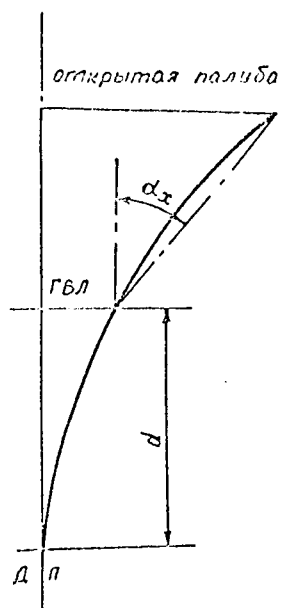


Рис. 3.3.2.2-1.

Схема определения угла α_x .

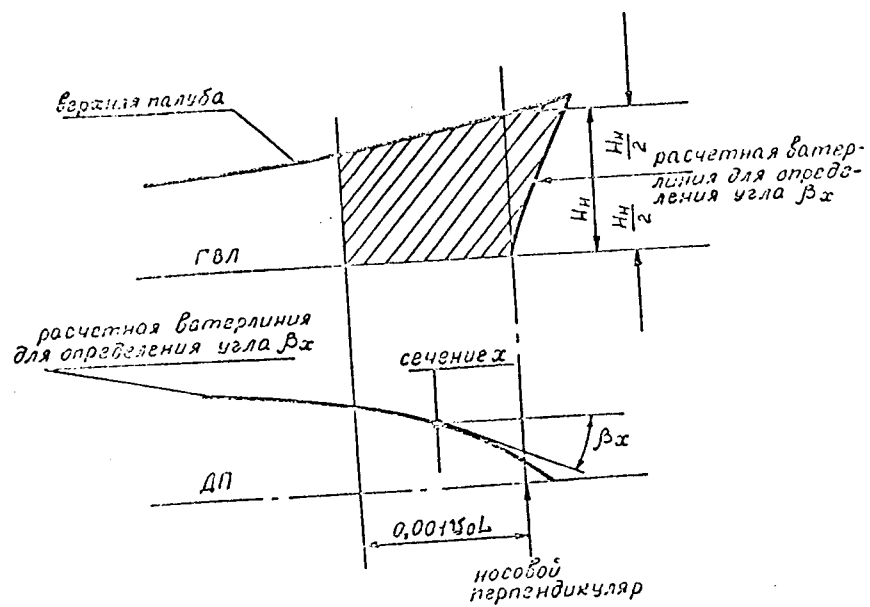


Рис. 3.3.2.2-2.

Схема определения угла β_x
(заштрихована область ударных давлений).

β_x - угол в град. между касательной к ватерлинии, расположенной на половине вертикального расстояния между летней грузовой ватерлинией и верхней открытой палубой на носовом перпендикуляре, и линией, параллельной диаметральной плоскости в рассматриваемом поперечном сечении (рис.3.3.2.2-2);

$L_p = L$ при $L \leq 250$ м;

$L_p = 250$ м при $L > 250$ м;

μ_1 - см.2.1.7.

Действие ударных давлений распространяется на часть борта, расположенную в нос от поперечного сечения, отстоящего на $0,001 U_c L$ в корму от носового перпендикуляра выше летней грузовой ватерлинии (рис.3.3.2.2-2).

3.3.3 Нагрузки, вызванные воздействием груза.

3.3.3.1 Расчетные ускорения в м/с^2 для определения сил инерции при качке судна на волнении вычисляются по общим формулам:

при положении судна вразрез волне

$$a_p = \sqrt{a_c^2 + a_k^2 + 0,4 a_b^2} ; \quad (3.3.3.1-1)$$

при положении судна лагом к волне

$$a_k = \sqrt{a_c^2 + 0,4 a_k^2 + a_b^2} , \quad (3.3.3.1-2)$$

где a_c - проекция ускорения центра тяжести судна на соответствующее направление;

a_k и a_b - проекции ускорений в рассматриваемой точке от килевой и бортовой качки на соответствующие направления.

Проекция ускорений на вертикальное направление (индекс Z), горизонтально-поперечное направление (индекс Y) и горизонтально-продольное направление (индекс X) вычисляются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_{c_z} &= 0,20 K_i \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g \cdot \mu_i \\ a_{c_y} &= 0,15 C K_i \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g \cdot \mu_i \\ a_{c_x} &= 0,10 \frac{K_i}{C} \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g \cdot \mu_i, \end{aligned} \right\} \quad (3.3.3.I-3)$$

где $C = 1$ - при расчетном режиме "лагом" к волне;

$C = 2/3$ - при встречном волнении;

μ_i - см. 2.1.7;

K_i - при определении эксплуатационных расчетных нагрузок равен:

$$K_i = K_1 = 1, \quad (3.3.3.I-4)$$

при определении экстремальных расчетных нагрузок

$$K_i = K_2 = 1 + 0,12 \left(2 + \frac{L}{100} \right). \quad (3.3.3.I-5)$$

Остальные составляющие ускорений

$$\left. \begin{aligned} a_{kz} &= 2\pi g \left(1 + 2,5 F_r^2 \right)^2 \frac{x_0}{L} \psi \\ a_{ky} &= 0 \\ a_{kx} &= 2\pi g \left(1 + 2,5 F_r^2 \right)^2 \frac{z_0}{L} \psi \\ a_{by} &= \left(\frac{2\pi}{T_b} \right)^2 \theta z_0 \\ a_{bz} &= \left(\frac{2\pi}{T_b} \right)^2 \theta y_0 \\ a_{bx} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3.3.3.I-6)$$

где T_b - расчетный период бортовой качки на волнении, с;

- ψ - расчетный угол килевой качки, рад;
 θ - расчетный угол бортовой качки, рад;
 x_0 - расстояние рассматриваемой точки от поперечной плоскости, проходящей через центр тяжести судна, м;
 y_0, z_0 - расстояние рассматриваемой точки от диаметральной плоскости и от горизонтальной плоскости, проходящей через центр тяжести судна, соответственно, м.
 Величина T_6 вычисляется с помощью следующих зависимостей:

$$T_6 = \frac{1}{2} (T_c + T_h) \quad \text{при } T_c \leq 1,6 T_h$$

и

$$T_6 = \left[1 + 0,77 \left(\frac{T_h}{T_c} \right)^2 \right] T_h \quad \text{при } T_c > 1,6 T_h .$$

(3.3.3.1-7)

Здесь T_c - собственный период бортовой качки судна на тихой воде, с;

T_h - средний период расчетного режима волнения;

$T_{h1} = 9 \mu_1^{0,5}$, с - при определении эксплуатационных нагрузок;

$T_{h2} = 12 \mu_2^{0,5}$, с - при определении экстремальных нагрузок.

Величина T_c устанавливается на основе расчетов бортовой качки. В первом приближении она может быть оценена по формуле

$$T_c \approx \frac{0,78 B}{\sqrt{h_m}} \quad , \quad \text{с} ,$$

(3.3.3.1-8)

где h_m - метacentрическая высота, м; определяется расчетом или по данным близкого по типу судна. Для водоизмещения судна, соответствующего его полной загрузке, ориентировочно можно принять

$$h \approx 0,07 \beta \quad , \quad \text{м} .$$

(3.3.3.1-9)

Для танкеров в балласте ориентировочно

$$\begin{aligned} T_c &\approx 3\sqrt[3]{B}, \quad \text{с}, \\ \psi &= K_i \left(0,155 - 0,04 \frac{L}{100} \right) \mu_i, \\ \theta &= K_i \left(0,51 - 0,1 \frac{L}{100} \right) \mu_i. \end{aligned} \quad (3.3.3.1-10)$$

K_i - коэффициент, определяемый зависимостями (3.3.3.1-4) и (3.3.3.1-5);

μ_i - см. 2.1.7.

3.3.3.2 Расчетное давление в кПа на перекрытия грузовых палуб, платформ, двойного дна от штучного и генерального грузов определяется с учетом сил инерции по формуле

$$p_r = h \rho_r g \left(1 \pm \frac{a_z}{g} \right), \quad (3.3.3.2-1)^*$$

где h - наибольшая высота укладки груза, м;
 ρ_r - погрузочная плотность груза, т/м³;

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{\kappa z}^2 + 0,4 a_{sz}^2}, \quad (3.3.3.2-2)$$

(см. 3.3.3.1)

3.3.3.3 Расчетное давление в кПа на конструкции, ограничивающие трюм для навалочного груза, определяются по формулам:

вертикальное давление (на второе дно или на палубу твиндека)

$$p_v = \rho_r g h \left(1 \pm \frac{a_z}{g} \right), \quad (3.3.3.3-1)^*$$

* Знак (+) соответствует положению судна на подошве расчетной волны; знак (-) - на ее вершине.

горизонтальное давление (на продольные и поперечные переборки)

$$p_r = \rho_r g h \left[\frac{z_i}{h} (1 - \sin \varphi) + 1,3 \left(1 - \frac{z_i^2}{h^2} \right) K_{\Delta} \right]. \quad (3.3.3.3-2)$$

Здесь h - высота укладки груза, м;

z_i - расстояние рассматриваемой точки от уровня свободной поверхности груза;

φ - угол внутреннего трения навалочного груза;

K_{Δ} - коэффициент, определяемый в зависимости от ориентации переборки и параметров качки:

для продольных переборок

$$K_{\Delta} = \theta \left(1 + \frac{a_{cy}}{g} \right), \quad (3.3.3.3-3)$$

для поперечных переборок

$$K_{\Delta} = \psi \left(1 + \frac{a_{cx}}{g} \right), \quad (3.3.3.3-4)$$

где a_{cy} и a_{cx} - определяются согласно (3.3.3.1-3) при $k_i = 1$.

Для наклонных участков внутреннего борта давление определяется как геометрическая сумма проекций на нормаль к поверхности трюма вертикального и горизонтального компонентов давления в рассматриваемой точке.

3.3.3.4 Расчетные давления на конструкции, ограничивающие отсеки, предназначенные для перевозки жидких грузов или водяного балласта (кроме сжиженных газов, грузов, закачиваемых в трюм под давлением, а также представляющих повышенную опасность), определяются в зависимости от относительных размеров отсека и степени его заполнения.

При этом под отсеком понимается танк или часть танка, заключенная между эффективными переборками. Эффективными переборками считаются как непроницаемые, так и отбойные переборки с общей площадью вырезов не более 10 % от площади переборок.

Случай I: Длина отсека $l \leq 0,15L$ и максимальная ширина отсека $b \leq 0,75B$ (l и b измеряются на уровне середины высоты отсека). Расчетное давление P_r вычисляется для случая полного заполнения отсека по формуле

при встречном волнении

$$P_r = \rho_r g \left(1 + \frac{a_{pz}}{g}\right) \left[z_i + \left(x_i + \frac{1}{2}l\right)\psi + 0,5\left(y_i + \frac{1}{2}b\right)\theta \right], \text{ кПа ;} \quad *)$$

лагом к волне

$$P_r = \rho_r g \left(1 + \frac{a_{pz}}{g}\right) \left[z_i + 0,5\left(x_i + \frac{1}{2}l\right)\psi + \left(y_i + \frac{1}{2}b\right)\theta \right], \text{ кПа ,} \quad (3.3.3.4-I)^*$$

где x_i - отстояние точки приложения нагрузки от поперечной вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести объема отсека в положении равновесия, м;

y_i - отстояние точки приложения нагрузки от продольной вертикальной плоскости, проходящей через середину расстояния между непроницаемыми продольными переборками (или продольной переборкой и бортом) на уровне палубы, ограничивающей отсек, м;

z_i - отстояние по вертикали точки приложения нагрузки (в диаметральной плоскости) от уровня палубы, ограничивающей отсек (при расчете палубы $z_i = 0$), м;

l, b - расчетная длина и ширина отсека, м

a_{pz}, a_{xz} - вычисляются по формулам (3.3.3.1-1) и (3.3.3.1-2);

ψ, θ - определяются по формулам (3.3.3.1-10).

Случай 2: Максимальная длина отсека $l_{max} > 15L$ и (или) максимальная ширина отсека $b_{max} \geq 0,75B$.

Гидродинамические давления определяются для наиболее неблагоприятного из возможных уровней заполнения по специальной методике, согласованной с Регистром. Для выявления наиболее неблагоприятного уровня заполнения необходимо последовательно вычислить гидродинамические давления для следующих вариантов: полное заполнение, 0,6, 0,8 от полного.

* Знак (+) - на подошве расчетной волны, знак (-) - на ее вершине.

Расчетные давления на конструкции рассматриваемой категории во всех случаях не должны быть меньше величины

$$p = \rho g (Z_i + \Delta Z) , \quad \text{кПа}, \quad (3.3.3.4-2)$$

где ρ - плотность жидкого груза или балласта в зависимости от назначения отсека;

ΔZ - высота воздушной или переливной трубки над уровнем перекрытия, ограничивающего отсек сверху.

Зависимость (3.3.3.4-2) используется также для определения расчетных давлений на стенки балластных цистерн, а также цистерн, предназначенных для топлива и масла.

3.3.3.5 Давление на водонепроницаемые аварийные переборки определяется:

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

$$\Delta_a = \frac{1}{2} b_a \theta_a ; \quad (3.3.3.5)$$

где b_a - ширина отсека, ограничиваемого рассматриваемой переборкой, м;

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

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

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

3.3.3.6 Давление на элементы конструкций, ограничивающих отсеки, в которых может находиться жидкость (балласт, жидкий груз, топливо и т.п.), определяется как указано в 3.3.3.5 при максимальном напоре до верха воздушной или переливной трубы, но не менее чем до уровня на 1 м выше палубы переборок в рассматриваемом районе. Конструкции указанных отсеков, расположенных вне двойного дна, проверяются дополнительно на давление согласно 3.3.3.4, соответствующее заполнению до верха цистерны и условиям качки на экстремальном расчетном волнении [$K_1 = K_2$ (3.3.3.1-5)].

Для цистерн, длина (ширина) которых не превышает 3 м, при определении нагрузок по формуле (3.3.3.4-I) можно принимать $\psi = \theta = 0$.

Нагрузки на цистерны-успокоители качки определяются по специальной методике, согласованной с Регистром.

3.3.3.7 Расчетные нагрузки на конструкции, испытывающие воздействие колесной техники, определяются номенклатурой наиболее тяжелых грузов и погрузочных (транспортных) средств.

Величина весовой нагрузки, передаваемой транспортным средством на настил, и размеры зон ее приложения (отпечатков колес) регламентируются предприятием-изготовителем транспортного средства.

3.3.3.8 Расчетная поперечная нагрузка Q_1 от колеса или группы* колес на конце оси погрузчика (транспортного средства) при погрузочно-разгрузочных работах в порту определяется зависимостью

$$Q_1 = K_g P_T \frac{n}{n_0}, \text{ кН}, \quad (3.3.3.8-I)$$

где P_T - максимальная весовая нагрузка на ось погрузчика (с грузом с учетом неравномерности ее распределения между осями при торможении, кН. Для вилочного погрузчика принимается, что вся нагрузка (вес погрузчика с перевозимым грузом) передается только передней осью;

n - число колес в группе* на конце оси;

n_0 - число колес на оси;

* В состав "группы" включаются смежные колеса, если расстояние между их отпечатками не превышает поперечного размера (в направлении оси колес) отпечатка одного колеса. При этом расстояние между отпечатками отдельных колес включается в протяженность общего отпечатка группы.

$K_d = K_m \cdot K_w$ - коэффициент динамичности. В случае, если коэффициент динамичности специально не определен расчетом, коэффициенты динамичности K_m и K_w могут быть приняты:

$K_m = 1$ - для вилочного погрузчика;

$K_m = 1,05$ - для колесной техники с большей массой и приблизительно равномерным распределением весовой нагрузки между осями;

$K_m = 1,1$ - для колесной техники с малой массой и неравномерным распределением нагрузки между осями;

K_w определяется в зависимости от типа шин:

$K_w = 1,0$ - при пневматических шинах;

$K_w = 1,15$ - при массивных резиновых шинах;

$K_w = 1,25$ - стальные колеса.

Расчетная поперечная нагрузка Q_2 от колеса или группы колес на конце оси погрузчика (транспортного средства) при качке судна в рейсе определяется зависимостью

$$Q_2 = P_{ст} \frac{n}{n_0} \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) \quad , \quad \text{кН} \quad , \quad (3.3.3.8-2)$$

где $P_{ст}$ - максимальная статическая весовая нагрузка на ось транспортного средства (с грузом), с учетом неравномерности ее распределения между осями, кН;

a_z - вертикальное ускорение корпуса в районе установки транспортного средства при качке судна по (3.3.3.2-2) в рейсе.

3.3.3.9 Расчетная нагрузка на перекрытия палуб и платформ, испытывающих воздействие колесной техники, определяется в соответствии со схемой общего расположения транспортных средств при полной загрузке палубы в рейсе. При этом нагрузка от колес (групп колес) определяется по (3.3.3.8-2).

3.4 Нормирование местной прочности конструкций

3.4.1 Наружная обшивка

3.4.1.1 Расчет пластин наружной обшивки производится в предположении их жесткой заделки на опорном контуре. В качестве расчетных напряжений принимаются нормальные напряжения от изгиба пластины посередине длинной стороны опорного контура.

Расчетная нагрузка принимается равномерно распределенной по пол-пластине.

3.4.1.2 Пластины наружной обшивки сухогрузных и наливных судов с двойным дном и двойными бортами рассчитываются на суммарное давление снаружи $P_{ст} + P_{вс}$, определяемое по формулам (3.3.1.1), (3.3.1.2-1) при наибольшей возможной осадке судна и расчетной высоте волны h_i , определяемой согласно рис.2.1.2-1.

При этом для обшивки днища $z_i = 0$, для обшивки борта $z_i = z_c$, где z_c - расстояние в м нижней кромки рассматриваемого листа от основной плоскости.

Прочность наружной обшивки в районах отсеков, в которых может находиться жидкость (жидкий груз, балласт, топливо и т.п.), должна дополнительно проверяться при расчетном давлении согласно 3.3.3.6.

Пластины наружной обшивки днища наливных судов без двойного дна рассчитываются на большую из нагрузок, определенных следующим образом:

суммарное давление снаружи $P_{ст} + P_{вс}$, определяемое как указано выше;

давление изнутри, определяемое по формуле (3.3.3.4-1) за вычетом давления снаружи ($P_{ст} - P_{в}$), вычисляемого по формулам (3.3.1.1) и (3.3.1.2-1).

В качестве расчетных величин $P_{ст} + P_{вс}$ и давлений изнутри по формулам (3.3.3.4-1) принимаются наибольшие их значения, а для давления снаружи $P_{ст} - P_{в}$ среднее его значение в пределах рассматриваемого отсека ($P_{в} = P_{в}^A$ согласно 3.3.1.2-3).

3.4.1.3 Коэффициенты допускаемых напряжений K_σ для пластин наружной обшивки днища и борта приведены в табл.3.4.1.3.

Таблица 3.4.1.3

Система набора	Днище (до верхнего поворота скулы)		Борт	
	средняя * часть	оконечности *	средняя * часть	оконечности *
Продольная	1,1	1,2	1,1	1,2
Поперечная	0,80	1,2	0,9	1,2
* Под средней частью понимается район 0,25L в нос и в корму от миделя, а под оконечностями - концевые районы корпуса протяженностью 0,10L. Значения K_6 для промежуточных районов определяются линейной интерполяцией.				

3.4.1.4 Прочность пластин обшивки днищевых перекрытий и борта в носовой части судна при расчетных гидродинамических давлениях (3.3.2.1-1 и 3.3.2.2-1) должна удовлетворять условию

$$K_n = \frac{P_{np}}{P_p} \geq 1, \quad (3.4.1.4-1)$$

где P_{np} - предельная интенсивность давлений для пластин;

P_p - расчетная величина давлений согласно (3.3.2.1) и (3.3.2.2);

P_{np} - вычисляется по формуле

$$P_{np} = 4,0 \cdot K_1 \cdot \sigma_r^* \left(\frac{s}{a} \right)^2, \quad \text{МПа}, \quad (3.4.1.4-2)$$

где s - толщина пластины (за вычетом поправки на износ Δs), мм;

a - длина меньшей стороны опорного контура пластины, м;

$$K_1 = 1 + 1,8 \left(\frac{a}{b} \right)^2;$$

b - длина большей стороны опорного контура пластины, м.

3.4.2 Днищевые перекрытия

3.4.2.1 Расчетная нагрузка на днищевое перекрытие принимается равномерно распределенной по его площади в пределах рассматриваемого отсека и вычисляется для условных положений судна на вершине и подошве волны с учетом противодействия груза со стороны отсека.

В качестве расчетной нагрузки принимается большее из двух указанных ниже значений.

Величина расчетного давления на днищевое перекрытие в кПа определяется по формулам:

для положения судна на вершине волны

$$P_g = \rho g d + P_b, \quad (3.4.2.1-1)$$

для положения судна на подошве волны

$$P_g = P_r^{max} + P_b - \rho g d \quad (3.4.2.1-2)$$

где P_b - волновая нагрузка, определяемая по формуле (3.3.1.2-2) при $h_i = h_i$ и $z_i = 0$;

P_r^{max} - наибольшая из возможных величин противодействия груза со стороны отсека в кПа, определяемая согласно рекомендациям раздела 3.3.

Величина всех составляющих равномерно распределенного давления на днищевое перекрытие определяется в точке, расположенной посередине длины и ширины перекрытия.

3.4.2.2 Прочность связей днищевое перекрытия при действии расчетной нагрузки (3.4.2.1) оценивается: полски балок (в том числе присоединенные полски настила второго дна и обшивки дна), вертикальный киль, днищевые стрингеры и флоры - по наибольшим нормальным напряжениям; стенки в опорных сечениях вертикального киля и днищевых стрингеров при продольной системе набора - дополнительно по приведенным напряжениям; стенки флоров - по касательным напряжениям.

Приведенные напряжения в опорных сечениях стенки киля и днищевых стрингеров вычисляются по формуле

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3\tau^2}, \quad (3.4.2.2-1)$$

где σ_c - расчетные нормальные напряжения от общего изгиба, определяемые для точек, расположенных посередине высоты стенки вертикального киля и стрингеров;

τ - касательные напряжения в стенке вертикального киля или днищевых стрингеров, вычисляемые при действии на днищевое перекрытие нагрузки, определяемой по 3.4.2.1.

$$\text{Величина} \quad \sigma_c = 0,80 \frac{\sigma_r^H}{K_\phi} \cdot \frac{|z_0|}{R}; \quad (3.4.2.2-2)^*$$

где K_ϕ - фактический (расчетный) коэффициент запаса прочности корпуса в соответствии с критерием (2.2.5-1) для рассматриваемого района длины и грузового состояния судна;

R - отстояние крайней по высоте продольной связи корпуса, для которой определяется величина W_n в зависимости (2.2.6), от нейтральной оси поперечного сечения корпуса;

z_0 - отстояние от этой оси середины высоты вертикального киля.

3.4.2.3 Допускаемые напряжения в продольных связях на действие поперечных нагрузок устанавливаются в зависимости от степени их участия в общем изгибе, определяемой коэффициентом,

$$K_w = \frac{K_\phi}{K_{min}} \cdot \frac{R}{|z|}, \quad (3.4.2.3)$$

где K_{min} - минимально необходимый коэффициент запаса согласно критерию (2.2.5-1) при перегибе судна на вершине расчетной волны (K_w^b при $K_{min} = 1,25$) или прогибе на подошве этой волны (K_w^n при $K_{min} = 1,15$);

K_ϕ - фактический коэффициент запаса прочности корпуса в указанных расчетных состояниях судна;

R - отстояние крайней по высоте продольной связи корпуса, для которой определяется W_n' (2.2.6), от нейтральной оси корпуса в рассматриваемом его сечении;

* При $\sigma_{кр}^b < \sigma_r^H$ в (3.4.2.2-2) следует принимать $\sigma_r^H = \sigma_{кр}^b$ (см. 2.3.7).

z - отстояние центра тяжести площади поперечного сечения рассматриваемой продольной связи от нейтральной оси корпуса.

3.4.2.4 Нормативные значения коэффициентов допускаемых напряжений для оценки прочности связей днищевого перекрытия принимаются по табл.3.4.2.4.

Таблица 3.4.2.4

Связи		Пояска	$K_{\sigma}; K_{\tau}$		Для стенки $K_{\sigma, \tau}$
			в середине пролета	опорные сечения	
Двойное дно	Вертикальный киль и днищевые стрингеры	Настил второго дна Днище	$0,35K_w \leq 0,50$ $0,30K_w \leq 0,45^{**}$	$0,55K_w \leq 0,80$ $0,50K_w \leq 0,70$	1,0*
	Сплошные флоры	Настил второго дна Днище	$0,80^{***}$ $0,70$		-
	Бракетные флоры	Настил второго дна Днище	0,80		-
Одичное дно	Вертикальный киль и днищевые стрингеры	Свободный пояс	$0,25K_w^{1,5} \leq 0,40$	$0,40K_w \leq 0,65$	0,85
	Сплошные флоры	Свободный пояс	0,70		-

* При поперечной системе не нормируется.

** Относится к случаю смятия дна при общем и местном изгибе. При растяжении нормативы соответствуют указанным для настила второго дна.

*** Верхняя цифра относится к продольной системе набора в случае растяжения поясков при изгибе флор, а также к поперечной системе набора (во всех случаях) и к определению K_{τ} . Нижняя - к продольной системе набора в случае смятия поясков от изгиба флор.

3.4.2.5 При проверке устойчивости стенок вертикального киля и днищевых стрингеров должно быть выполнено условие

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{кр}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{кр}} \right)^2 \leq K, \quad (3.4.2.5)$$

- где σ_0 - расчетное нормальное напряжение сжатия от общего изгиба, вычисляемое согласно выражению (3.4.2.2-2) для точки, расположенной посередине высоты стенки киля (стрингера);
- τ - расчетное среднее касательное напряжение в стенке киля (стрингера) от местного изгиба днищевого перекрытия при действии эксплуатационной нагрузки (высота расчетной волны $h_i = h_1$);
- $\sigma_{кр}$ - критическое нормальное напряжение для стенки киля или стрингера при равномерном сжатии по высоте стенки;
- $\tau_{кр}$ - критическое касательное напряжение для стенки киля или стрингера при действии равномерно распределенных по кромкам касательных усилий.

Значения K :

при продольной системе набора $K = 1,0$ для киля и $K = 1,1$ для стрингеров;

при поперечной системе набора $K = 1,15$ для киля и $K = 1,25$ для стрингеров.

Конструкция сплошных флоров должна удовлетворять условию

$$\frac{\tau}{\tau_{кр}} \leq 1;$$

- $\tau_{кр}$ - критическое касательное напряжение для стенки флора при действии равномерно распределенных по кромкам касательных усилий;
- τ - расчетное среднее касательное напряжение в стенке флора от местного изгиба днищевого перекрытия при высоте расчетной волны $h_i = h_1$.

Значения $\sigma_{кр}$ и $\tau_{кр}$ определяются с учетом влияния износа в соответствии с рис.2.3.7-1. при установке вертикальных ребер жесткости и рис.2.3.7-2 при установке горизонтальных ребер жесткости.

3.4.2.6 Прочность днищевых перекрытий в носовой части судна проверяется на действие расчетных гидродинамических давлений (3.3.2.1).

При этом предельная прочность перекрытия должна удовлетворять условию

$$K_n = \frac{Q_{np}}{Q_p} \geq 1.2, \quad (3.4.2.6-1)$$

где Q_{np} - предельная нагрузка для перекрытия;

Q_p - расчетная нагрузка, определяемая в соответствии с 3.3.2.1.

Величина Q_{np} определяется по специальной методике, согласованной с Регистром.

При продольной системе набора перекрытия дополнительно должно быть проверено условие

$$\sigma_p \leq \sigma_r^*, \quad (3.4.2.6-2)$$

σ_p - расчетные напряжения сжатия в наружной обшивке перекрытия, обусловленные изгибом флоров под действием гидродинамической нагрузки, определяемой согласно 3.3.2.1.

Расчет величины σ_p производится по специальной методике, одобренной Регистром.

3.4.3 Балки основного набора днища

3.4.3.1 Расчет продольных балок по днищу при продольной системе набора и днищевых балок бракетных флоров при поперечной системе набора днища производится в предположении их жесткой заделки в опорных поперечных сечениях. За расчетную длину пролета для продольных балок принимается расстояние между флорами*, для днищевых балок бракетных флоров - наибольшее расстояние между внутренними кромками бракет. В качестве расчетных напряжений принимаются наибольшие нормальные напряжения в опорных поперечных сечениях продольных и поперечных балок.

При установке с обеих сторон флора книц размерами около одной десятой пролета продольных балок за расчетное может быть принято сече-

* При наличии кничных закреплений в опорных сечениях расчетная длина пролета принимается в соответствии с 3.2.6.

ние посередине пролета.

Для днищевых балок при отношении длины балки к ее высоте менее 12 должна быть проверена их прочность на срез в районе опорных сечений.

3.4.3.2 Расчетная нагрузка для днищевых балок основного набора принимается равномерно распределенной по длине пролета. Они рассчитываются при наличии двойного дна на суммарное наружное давление ($P_{ct} + P_g$), определяемое по формулам (3.3.1.1) и (3.3.1.2-2) при $Z_i = 0$ и расчетной высоте волны $h_i = h_1$.

Балки основного набора днища наливных судов без двойного дна дополнительно рассчитываются на давление изнутри за вычетом противодействия снаружи ($P_{ct} - P_g$), определяемого как указано в 3.4.1.2.

3.4.3.3 Коэффициент допускаемых нормальных и касательных напряжений в опорных сечениях продольных балок днища принимается равным:

при расчете на наружное давление

$$K_g = K_\tau = 0,30 (K_w^g)^{1,5} \leq 0,60, \quad (3.4.3.3-1)$$

при расчете на внутреннее давление

$$K_g = K_\tau = 0,35 (K_w^g)^{1,5} \leq 0,70, \quad (3.4.3.3-2)$$

где K_w^g, K_w^n — коэффициенты, обратные отношению рассматриваемой продольной связи в общем изгибе корпуса (см. 3.4.2.3).

3.4.3.4 Прочность продольных и поперечных днищевых балок основного набора в районе действия гидродинамических ударных нагрузок от slammingа, определяемых согласно (3.3.2.1), должна удовлетворять условию

$$K_n = \frac{Q_{np}}{Q_p} = 1,1, \quad (3.4.3.4-1)$$

Q_{np} — предельная нагрузка элементов набора, кН;

Q_p — расчетная гидродинамическая нагрузка от slammingа, кН.

Величина Q_{np} принимается равной меньшей из величин, определяемых по формулам:

$$Q_{пр,1} = 16 \frac{K_1}{K_2} \frac{W}{l} \sigma_T^H \cdot 10^{-3} ;$$

$$Q_{пр,2} = 0,115 \frac{S}{K_3} \sigma_T^H ; \quad (3.4.3.4-2)$$

W - момент сопротивления балки, см^3 ;

S - площадь поперечного сечения балки или сварных швов, соединяющих разрезные балки с опорными конструкциями, см^2 ;

$$K_1 = \frac{3}{3 - \left(\frac{a}{l}\right)^2} ;$$

$K_2 = 1$, если балки проходят не разрезаясь через стенки опорных конструкций;

$K_2 = 1,75$, если балки разрезаются на опорах для сечения по сварному шву;

$$K_3 = 1 - \frac{a}{2l} .$$

В площадь поперечного сечения балки включается площадь стенки, а также площадь участка присоединенного пояска обшивки шириной

$$S_1 = 3 S_n ,$$

S_n - толщина присоединенного пояска.

Свободный пояс балки полосообразного (симметричного и несимметричного) профиля включается полностью в площадь поперечного сечения балки. Свободный пояс балок таврового профиля включается в площадь сечения балки аналогично присоединенному пояску.

Расчетная гидродинамическая нагрузка от элемента Q_p на элементы продольного и поперечного набора определяется по формуле

$$Q_p = p_d \cdot a l , \quad \text{кН} \quad (3.4.3.4-3)$$

p_d - гидродинамическое давление согласно (3.3.2.1-1), кПа ;

a - расстояние между балками, м ;

l - пролет балки, м.

3.4.4 Настил второго дна

3.4.4.1 Расчет пластин настила второго дна производится в предположении их жесткой заделки на опорном контуре. В качестве нормальных напряжений принимаются наибольшие нормальные напряжения от изгиба пластины посередине длинной стороны опорного контура.

3.4.4.2 В качестве расчетной принимается большая из нагрузок для рассматриваемой панели: давление жидкого, насыпного груза или балласта в зависимости от назначения отсека, определяемое согласно 3.3.3.3 и 3.3.3.4 соответственно, или гидростатический напор согласно 3.3.3.6.

Расчетная нагрузка принимается равномерно распределенной по поверхности поля пластины*.

3.4.4.3 Коэффициенты допускаемых напряжений K_σ для пластин второго дна в районе $0,5L$ средней части длины судна принимаются:

при продольной системе набора

$$K_\sigma = 1,3;$$

при поперечной системе набора

$$K_\sigma = 1,0;$$

в оконечностях независимо от системы набора

$$K_\sigma = 1,5.$$

3.4.5 Балки основного набора второго дна

3.4.5.1 Расчетные условия для балок основного набора второго дна принимаются как для балок основного набора днища согласно 3.4.3.1.

3.4.5.2 Расчетная нагрузка принимается согласно 3.4.4.2 и полагается равномерно распределенной по длине пролета балки.

3.4.5.3 Коэффициенты допускаемых напряжений K_σ для балок основного набора второго дна принимаются:

*Приведенные рекомендации не относятся к случаю действия локально распределенных нагрузок.

Значение K_t в (3.3.3.1-3) и (3.3.3.1-10) принимается в соответствии с (3.3.3.1-4) $K_t = K_1 = 1$.

для продольных балок второго дна $K_B = 0,40 K_w^0 \leq 0,80$ (см 3.4.2.3-1);
для верхних балок бракетных флоров $K_B = 0,80$.

3.4.5.4 Коэффициенты допускаемых касательных напряжений принимаются:

для продольных балок $K_T = 0,40 K_w^0 \leq 0,80$;

для поперечных балок $K_T = 0,80$.

3.4.6 Палубные перекрытия

3.4.6.1 Расчетные нагрузки на палубы определяются в зависимости от положения и назначения палубы:

.1 для открытых палуб - от наката волн по формулам (3.3.1.2-4) при $h_1 - h_2$ и (3.3.1.2-7);

.2 для открытых палуб, предназначенных для перевозки груза, - согласно .1 и по формуле (3.3.3.2-1) при максимальной массе груза и ускорениях от качки, вычисляемых для эксплуатационного режима волнения (при $K_1 = K_2 = 1$);

.3 для грузовых палуб - по формулам (3.3.3.2-1) или (3.3.3.3-1) при максимальной массе груза и ускорениях от качки согласно .2;

.4 для открытых палуб, ограничивающих сверху отсеки для перевозки жидких грузов или балласта, - согласно 3.3.3.4 при ускорениях от качки, определяемых для экстремального режима волнения ($K_1 = K_2$), а также при давлении изнутри отсека, соответствующем напору до верха воздушной или переливной трубы согласно 3.3.3.6.

3.4.6.2 Прочность набора палубных перекрытий при действии нагрузок от заливания (см.3.4.6.1.1) проверяется расчетом по предельному состоянию (см.3.4.6.7), а при действии нагрузок от груза и внутреннего давления жидкости (см.3.4.6.1.2-4) расчетом конструкций в упругой стадии их деформирования.

Для открытых палуб, предназначенных для перевозки груза (см. 3.4.6.1.2) расчет прочности производится для каждой из категорий нагрузок.

Порядок расчета набора палубных перекрытий на нагрузки от колесной техники см.3.4.7.

3.4.6.3 При расчете прочности набора палубных перекрытий в упругой

стадии учитывается их взаимодействие со смежными палубными и бортовыми перекрытиями, а при наличии соответствующей связи посредством пиллерсов и взаимодействие между собой палубных и днищевых перекрытий.

Расчет предельного состояния палубных перекрытий производится с учетом несущей способности связей, обеспечивающих взаимодействие набора этих перекрытий со смежными конструкциями.

3.4.6.4 Коэффициенты допускаемых напряжений в балках основного и рамного набора перекрытий при их расчете в упругой стадии для продольных балок палуб и платформ, отстояние которых от нейтральной оси корпуса превышает $I/3D$, определяются для положения судна на подошве расчетной волны в соответствии с формулой (3.4.3.3-2), а в остальных случаях для продольных, а также для поперечных балок*

$$K_{\sigma} = K_{\tau} = 0,70.$$

Коэффициент допускаемых напряжений для приведенных напряжений в стенках опорных сечений карлингсов верхней палубы (см. 3.4.2.3).

$$K_{np} = 0,5 K_w^n \leq 0,85.$$

При этом приведенные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_{\sigma n}^2 + 3\tau^2}, \quad (3.4.6.4)$$

где τ — средние по сечению касательные напряжения в стенках карлингсов от поперечной нагрузки;

$\sigma_{\sigma n}$ — расчетные нормальные напряжения на уровне нейтральной оси карлингса от общего изгиба, определяемые согласно (3.4.2.2-2) при Z_0 , равном отстоянию этой оси до нейтральной оси поперечного сечения корпуса.

Коэффициенты допускаемых относительных прогибов карлингсов, карлингсов-комингсов и концевых люковых бимсов, являющихся опорами для люковых закрытий, принимаются:

* При расчете рамных бимсов наливных судов на действие нагрузок в соответствии с 3.3.3.4 (случай I) $K_{\sigma} = K_{\tau} = 0,60$.

$$\text{для верхних палуб} \quad K_f \leq \frac{l}{400};$$

$$\text{для нижних палуб} \quad K_f \leq \frac{l}{300},$$

где l - длина наибольшего пролета указанных балок перекрытия.

3.4.6.5 Коэффициент запаса устойчивости пиллерсов на действие усилий, передаваемых на них палубами при их эксплуатационном нагружении должен быть не менее

$$K_{\text{кр}} = 1,5.$$

При расчетах палуб на предельное нагружение устойчивость подкрепляющих их пиллерсов должна быть обеспечена до предела текучести материала (см. рис. 2.3.7-1).

3.4.6.6 Предельная прочность перекрытий верхней палубы при действии нагрузок от наката волн должна удовлетворять условию

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_p} \geq 1,2, \quad (3.4.6.6)$$

где $Q_{\text{пр}}$ - предельная нагрузка для перекрытия в целом или его отдельных элементов;

Q_p - расчетная нагрузка, определяемая согласно зависимостям (3.3.1.2-4; 1и5) при $h_1 = h_2$.

При определении $Q_{\text{пр}}$ учитывается действие продольных усилий от общего изгиба, соответствующих нормальным напряжениям, равным

$$\sigma_p = 0,85 \frac{\sigma_r}{K_{\text{ф}}},$$

где $K_{\text{ф}}$ - расчетный (фактический) минимальный коэффициент запаса прочности при проверке общей предельной прочности по 2.2.5 при состоянии судна в грузу на вершине расчетной волны.

3.4.6.7 Прочность настила верхней палубы в пределах ее носового района протяженностью 0,20 L проверяется в соответствии с условием

$$K_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{с}}} \geq 1,2, \quad (3.4.6.7)$$

где $P_{\text{пр}}$ - определяется зависимостью (3.4.1.4-2);

P_0 - расчетные давления по (3.3.1.2-4) при $h_1 = h_2$ (см. рис.2.1.2-1).

3.4.6.8 Расчет пластин настила палуб и платформ под действием нагрузок, которые могут рассматриваться как равномерно распределенные по площади, производится в предположении жесткой заделки пластин на опорном контуре.

В качестве расчетных напряжений принимаются наибольшие нормальные напряжения от изгиба пластины посередине длинной стороны опорного контура.

Коэффициенты допускаемых напряжений K_0 при нагрузках, обусловленных действием груза, либо внутренним гидростатическим давлением жидкости, равны:

1,1 - при продольной системе набора;

0,8* - при поперечной системе набора.

3.4.7 Расчет палубных конструкций на действие нагрузок от колесной техники.

3.4.7.1 Расчет листов настилов конструкций, подверженных действию колесной техники, производится на действие нагрузок согласно 3.3.3.8. При действии этих нагрузок допускается упруго-пластическое деформирование материала, нормативные ограничения которого, как и схема расчета в целом устанавливаются в специальной методике, одобренной Регистром.

3.4.7.2 Балки основного набора рассчитываются как неразрезные балки на нагрузку по 3.3.3.8.

Коэффициенты допускаемых напряжений принимаются равными:

при проведении погрузочно-разгрузочных работ в порту (см.3.3.3.8-1)

$$K_0 = K_T = 0,80;$$

в условиях рейса (3.3.3.8-2) - в соответствии с 3.4.6.4.

* Указанное значение K_0 относится к среднему району длины судна протяженностью 0,5L. Для оконечностей на участках длины 0,1L значения K_0 могут быть увеличены до рекомендуемых при продольной системе набора. На промежуточных участках длины судна значения K_0 устанавливаются в этом случае линейной интерполяцией.

3.4.8 Бортовой набор

3.4.8.1 Расчет бортовых перекрытий как системы пересекающихся балок выполняется при конструкции борта, включающей рамные шпангоуты и бортовые стрингеры.

При этом учитывается, в случае соответствующего конструктивного оформления, наличие перевязки балок набора борта с аналогичными элементами внутренних бортов или продольных переборок. Палубы и поперечные переборки рассматриваются в виде жестких в своей плоскости конструкций, образующих жесткий опорный контур бортовым перекрытиям.

При отсутствии на большей части длины судна поперечных переборок (суда с горизонтальным способом грузообработки и им подобные), а также при большом раскрытии палуб, либо расположении палубных вырезов вблизи борта может возникнуть необходимость учета влияния деформаций палуб в своей плоскости на напряженное состояние бортовых перекрытий. Расчеты с учетом этих факторов балок бортового набора производятся по специальным методикам, одобренным Регистром.

3.4.8.2 Продольные бортовые балки рассчитываются как жестко заделанные на несмещающихся опорах - рамных шпангоутах.

3.4.8.3 Расчетные нагрузки на бортовые перекрытия определяются суммарным давлением $P_{ст} + P_{в}$, вычисляемым по формулам (3.3.1.1), (3.3.1.2-1), (3.3.1.2-2) и (3.3.1.2-4).

Противодавление груза изнутри отсека или трюма не учитывается.

3.4.8.4 При двойном борте расчетное давление на внутренний борт, ограничивающий отсек, предназначенный для перевозки жидких грузов или балласта, определяется согласно 3.3.3.4. Расчетное давление на внутренний борт от навалочного груза определяется согласно 3.3.3.3. Расчетное давление на конструкции внутреннего борта, а также водонепроницаемые участки вертикальных диафрагм и горизонтальных платформ внутри двойного борта не должно приниматься менее чем испытательный напор, определяемый согласно 3.3.3.4-2.

3.4.8.5 Прочность балок бортового перекрытия на действие нагрузок согласно 3.4.8.4 оценивается:

полски балок - по наибольшим нормальным напряжениям;

стенки балок - по средним касательным напряжениям;

перекрытия в целом - по предельной нагрузке.

При проверке прочности по допускаемым напряжениям давление, обусловленное качкой судна на волнении, вычисляется при $h_1 = h_1$, а при проверке прочности по предельной нагрузке, при $h_1 = h_2$.

При этом во всех случаях учитывается влияние книц на увеличение прочности в местах их установки (см.3.2.6).

4.8.6 Коэффициенты допускаемых напряжений и коэффициенты запаса по предельной нагрузке для бортового набора принимаются согласно табл.3.4.8.6.

Таблица 3.4.8.6

Связи	K_B и K_T	K_n
Трюмные и твиндечные шпангоуты*	$\frac{1,0}{1,1}$	-
Рамные шпангоуты сухогрузных судов	0,8	-
Перекрытия борта сухогрузных судов:		
в районе грузовых трюмов	-	1,2
в машинном отделении	-	1,4
Шпангоуты и продольные бортовые балки форпика и ахтерпика	0,65	-
Шпангоуты в танках наливных судов и распорки шпангоутных рам**	0,65	-
Продольные бортовые балки борта	см.3.4.3.3 и 3.4.6.3	-
* Значения K_B и K_T в числителе относятся к трюмным шпангоутам и твиндечным шпангоутам многопалубных судов, в знаменателе - к твиндекам двухпалубных судов и надстройкам. ** Устойчивость распорок в целом и поясков в их плоскости должна быть обеспечена до напряжений $\sigma_{кр} \geq 0,95 \sigma_T^*$, а их стенок до $\sigma_{кр} \geq 0,80 \sigma_T^*$.		

3.4.8.7 Прочность элементов набора борта в районе действия гидродинамических давлений P_6 , определяемых по формуле (3.3.2.2-1), должна удовлетворять условиям, указанным в 3.4.3.4 для балок набора днища. Пластины обшивки при действии этих давлений должны удовлетворять условию (3.4.1.4-1).

3.4.9 Переборки

3.4.9.1 Обшивка переборок

3.4.9.1.1 При проверке прочности листы обшивки переборок рассматриваются как пластины, жестко заделанные по контуру.

Прочность пластин должна удовлетворять условию

$$\frac{P_{np}}{P_p} \geq K_n \quad (3.4.9.1.1)$$

где P_{np} - предельная интенсивность давления для пластин, определяемая в соответствии с (3.4.1.4-2);

P_p - расчетное давление, определяемое в соответствии с 3.4.9.1.2, МПа;

K_n - коэффициент запаса по 3.4.9.1.3.

3.4.9.1.2 Расчетные нагрузки принимаются равномерно распределенными по поверхности пластины.

Поперечное давление определяется для нижней кромки рассматриваемого пояса обшивки.

Расчетное давление для водонепроницаемых аварийных переборок принимается по 3.3.3.5.

Расчетная нагрузка для переборок судов для навалочных грузов принимается по формуле (3.3.3.3-1).

Расчетное поперечное давление для переборок грузовых и балластных трюмов наливных судов, отсеков для водяного балласта и различного рода встроенных в корпус цистерн принимается:

статическое давление до верха воздушной трубки и до крыши цистерны;

гидродинамическое давление по 3.3.3.4 или 3.3.3.6 при экстремальных параметрах качки судна (величина коэффициента K_1 в формуле (3.3.3.1-10) согласно (3.3.3.1-5)).

Переборки, подвергающиеся систематическому знакопеременному нагружению*, дополнительно проверяются на действие гидродинамических давлений по 3.3.3.4 при качке судна в эксплуатационных условиях (коэффициент $K_1 = 1$).

3.4.9.1.3 Коэффициенты запаса K_n для пластин обшивки переборок принимаются согласно табл. 3.4.9.1.3.

Таблица 3.4.9.1.3

Тип переборки и нагрузка	Коэффициент запаса K_n
Аварийные переборки,	1,2
в том числе форпиковая	1,5
Переборки грузовых и балластных отсеков наливных судов, трюмов и отсеков для водяного балласта и различного рода цистерн	
гидродинамические давления при максимальной качке судна	1,0
при статическом напоре до крыши цистерны	1,5
при статическом напоре до верха воздушной трубки	1,1
при регулярной знакопеременности нагрузок в эксплуатационных условиях	1,3
Переборки трюмов судов для навалочных грузов при эксплуатационных нагрузках	1,3

3.4.9.2 Перекрытия переборок

3.4.9.2.1 Расчет перекрытий переборок как системы пересекающихся балок выполняется при конструкции переборок, включающих рамные стойки и горизонтальные рамы (шельфы).

* Например, переборки, разделяющие грузовые и балластные отсеки наливных судов.

При расчете переборок, ограничивающих коффердамы, следует учитывать их совместную работу.

Распределение расчетной нагрузки по высоте перекрытия принимается по трапеции.

Распределение нагрузки по ширине (длине) перекрытия принимается равномерным. Гидродинамические давления по ширине (длине) перекрытия осредняются и принимаются равными давлениям в среднем по его ширине (длине) вертикальном сечении.

Расчетное давление определяется в соответствии с указаниями, приведенными в 3.4.9.1.2. Противодействие со стороны смежных отсеков не учитывается.

3.4.9.2.2 Прочность перекрытий переборок проверяется:

аварийные переборки - расчетом по предельному состоянию;

переборки грузовых и балластных отсеков наливных судов, трюмов судов для навалочных грузов, балластных отсеков и различного рода цистерн - по допускаемым напряжениям.

Прочность балок рамного набора переборок оценивается:

поперечные балки - по наибольшим нормальным напряжениям;

стенки балок - по средним касательным напряжениям.

Коэффициенты допускаемых напряжений для балок рамного набора и коэффициенты запаса по предельной нагрузке перекрытий принимаются по данным табл.3.4.9.2.2.

3.4.9.3 Балки основного набора переборок

3.4.9.3.1 Стойки переборок, имеющие по высоте промежуточные опоры (палубы, платформы, горизонтальные рамы), могут рассматриваться как неразрезные балки.

Горизонтальные балки переборок рассчитываются как жестко опертые на рамные стойки.

В качестве расчетных принимаются наибольшие нормальные напряжения.

Таблица 3.4.9.2.2

Тип переборки и нагрузка	Коэффициенты допускаемых напряжений K_{σ} ; K_{τ}	Коэффициент запаса K_n
Аварийные переборки, в том числе форпиковая	- -	1,3 1,6
Переборки грузовых и балластных отсеков наливных судов, трюмов и отсеков для водного балласта и различного рода цистерн:		
при статическом напоре до верха воздушной трубы	0,70	-
при статическом напоре до крыши цистерны	0,60	-
гидродинамические давления при экстремальных параметрах качки	0,85	-
гидродинамические давления для горизонтальных рам продольных переборок	$0,5K_w^n \leq 0,80^*$	-
Переборки трюмов судов для навалочных грузов при эксплуатационных параметрах качки	0,70	-
То же для горизонтальных рам продольных переборок	$0,45K_w^n \leq 0,70^*$	
* Параметр K_w^n см.3.4.2.3		

3.4.9.3.2 Расчетная нагрузка для вертикальных стоек переборок принимается распределенной по треугольнику или трапеции. Расчетная нагрузка для горизонтальных балок принимается равномерно распределенной по пролету балки.

Расчетное давление определяется в соответствии с указаниями 3.4.9.1.2 для обшивки переборок. При этом максимальное давление на вертикальные стойки определяется на уровне дна, минимальное - на уровне верха цистерны отсека.

Расчетное давление для горизонтальных балок определяется на уровне рассматриваемой балки. Расчетные гидродинамические давления и давления навалочного груза вычисляются для наиболее удаленной от диаметральной плоскости стойки переборки или середины пролета крайней горизонтальной балки в данном отсеке.

3.4.9.3.3 Прочность балок проверяется:

балки аварийных переборок - расчетом по предельному состоянию;

балки переборок грузовых и балластных отсеков наливных судов и трюмов навалочных судов, отсеков водяного балласта и цистерн - по допускаемым нормальным напряжениям.

Коэффициенты запаса и допускаемые напряжения для балок основного набора принимаются по табл.3.4.9.3.3.

Таблица 3.4.9.3.3

Тип переборки и нагрузка	Коэффициенты допускаемых напряжений	Коэффициент запаса
Аварийные переборки, в том числе таранная	- -	1,3 1,5
Переборки грузовых и балластных отсеков наливных судов, трюмов и отсеков для водяного балласта и различного рода цистерн: при статическом напоре до верха воздушной трубки	0,85	-

Продолжение табл.3.4.9.3.3

Тип переборки и нагрузка	Коэффициенты допускаемых напряжений	Коэффициент запаса
при статическом напоре до крыши цистерны	0,65	-
гидродинамические давления при экстремальных параметрах качки	0,90	-
гидродинамические давления для горизонтального набора продольных переборок	$0,55K_w^n \leq 0,85^*$	-
Переборки трюмов судов для навалочных грузов при эксплуатационных параметрах качки	0,80	-
То же для горизонтального набора продольных переборок	$0,50K_w^n \leq 0,75^*$	-
* Параметр K_w^n - см.3.4.2.3.		

ПРИЛОЖЕНИЕ УЧЕТ ИЗНОСА СВЯЗЕЙ

Приводимые ниже рекомендации по определению поправок на износ связей корпуса должны использоваться при отсутствии специальных требований к условиям эксплуатации и средствам защиты корпуса от коррозии. При их наличии по согласованию с Регистром порядок назначения этих поправок может быть изменен.

Расчетный срок эксплуатации при отсутствии других сведений должен приниматься равным $T_p = 24$ года.

I. Общая прочность

I.1. Момент сопротивления поперечного сечения корпуса в критерии эксплуатационной прочности (2.2.2-I) с учетом износа связей определяется в соответствии с зависимостью:

$$W' = W_i - \Delta W, \quad (I.1-I)$$

где W_i - момент сопротивления проверяемого поперечного сечения нового корпуса относительно его крайних по высоте жестких продольных связей (верхних $i=1$ или нижних $i=2$);
 ΔW - часть момента сопротивления, учитывающая запас на износ и коррозию в этом сечении, определяемая при отсутствии других указаний, в соответствии с требованиями действующих Правил Регистра СССР.

I.2. Предельный момент сопротивления проверяемого поперечного сечения корпуса в расчетном выражении (2.2.6-I) с учетом износа связей определяется в соответствии с зависимостью:

$$W'_n = W_i (1 - \Delta_i^n) - \Delta W, \quad (I.2.-I)$$

где W_i - момент сопротивления проверенного поперечного сечения нового корпуса относительно его крайней по высоте верхних жестких продольных связей;
 ΔW - величина, аналогичная введенной в (I.1-I);
 Δ_i^n - поправка, учитывающая редуцирование теряющих устойчивость гибких связей.

$$\Delta_i^n = \sum_i \varphi(z_i; \ell) \frac{f_i(1-\psi_i)}{F_k} \quad (I.2-2)$$

f_i - площадь сечения i -й гибкой связи (пластины), теряющей устойчивость при действии расчетного предельного изгибающего момента, см^2 ;

ψ_i - редуцированный коэффициент этой площади, определяемый в соответствии с рекомендацией п.2.3.10;

F_k - полная площадь проверенного поперечного сечения корпуса, см^2 ;

$$\varphi(z_i; \ell) = \frac{z_i^2 F_k}{I_k} + \frac{z_i}{\ell}; \quad (I.2-3)$$

z_i - расстояние рассматриваемой i -й гибкой связи от нейтральной оси проверяемого поперечного сечения, см ;

ℓ - расстояние от продольной связи корпуса, для которой определяется его момент сопротивления, до нейтральной оси, см ;

I_k - момент инерции площади F_k относительно нейтральной оси, см^4 .

Расчет величины $\varphi(z_i; \ell)$ (I.2-3) производится с учетом знака параметров z_i и ℓ , который принимается положительным для направления вверх от нейтральной оси сечения корпуса (при сжатии его верхних продольных связей - прогиб корпуса) и отрицательным для направления вниз от этой оси (сжатие нижних продольных связей - перегиб корпуса).

Параметры F_k и I_k определяются для нового корпуса (без учета износа связей).

Толщины гибких связей при расчете величин f_i и ψ_i в (I.2-2) принимаются с учетом износа связей в соответствии с указанным ниже в п.2.

1.3. При проверке предельной прочности корпуса по критерию (2.2.8-1) левая часть этого выражения с учетом износа и редуцирования связей определяется согласно выражению

$$\frac{W_{n2}}{W_{n1}} = \frac{R}{|Z_n|} = \left(\frac{R}{|Z_n|} \right)_0 \frac{1 - \Delta_2^n - \frac{\Delta W}{W_2}}{1 - \Delta_1^n - \frac{\Delta W}{W_1}}, \quad (I.2-4)$$

где W_{nj} - предельные моменты сопротивления, определяемые от относительно его крайних по высоте верхних ($j = 1$) и нижних ($j = 2$) жестких продольных связей

$$[W_{ni} = W'_n \quad (\text{см. 1.2-1})];$$

$\frac{R}{|Z_n|} \cdot \left(\frac{R}{|Z_n|}\right)_0$ - соотношение отстояний крайних жестких продольных связей от нейтральной оси (см. 2.2.8-1), определяемых соответственно с учетом и без учета износа и редуцирования гибких связей,

W_j - моменты сопротивления проверенного поперечного сечения нового корпуса (без учета износа связей и их редуцирования) относительно верхней палубы ($j = 1$) и днища ($j = 2$),

Δ_j^n - параметры, определяемые согласно (1.2-2) применительно к условиям действия предельного перегибающего момента (сжатие нижних продольных связей корпуса); при $j = 1$ для верхней палубы $l = R$ и при $j = 2$ для днища $l = D - R$, где D - высота корпуса.

2. Местная прочность

Величины поправок на износ к толщине связей конструкций, обеспечивающих местную прочность корпуса, определяются по формуле

$$\Delta S = \frac{1}{2} T_p U_0, \quad (2.1-1)$$

где U_0 - среднегодовая скорость уменьшения толщины рассматриваемой связи, значения которой, при отсутствии специальных требований к условиям эксплуатации и средствам защиты корпуса, определяются в соответствии с требованиями действующих Правил Регистра СССР.

Графики для приведения моментов сопротивления стандартных профилей из состояния "в момент постройки" в состояние "к середине срока службы" и обратного приведения

Ниже представлены графики двух типов.

Тип А. Позволяют определить момент сопротивления стандартных профилей (полособульба, тавра) после уменьшения толщины вследствие износа по известным значениям момента сопротивления, отвечающим размерам нового (строительного) профиля или листа и заданной величины износа ΔS (рис.1).

Тип Б. Позволяют определить требуемый момент сопротивления стандартных профилей (полособульба, тавра) или требуемую толщину нового листа по известным значениям соответствующих параметров после заданного износа ΔS (рис.2).

Величина ΔS отвечает уменьшению толщины по всему периметру поперечного сечения профиля.

Графики могут быть использованы для оценки влияния износа на предельные моменты сопротивления W_{np} и моменты инерции J .

В первом случае величина W , приведенная на горизонтальной оси графиков, вычисляется по приближенной формуле

$$W \approx 0,80 W_{np}$$

во втором

$$W \approx 1,4 \frac{J}{h}$$

где h - высота профиля балки.

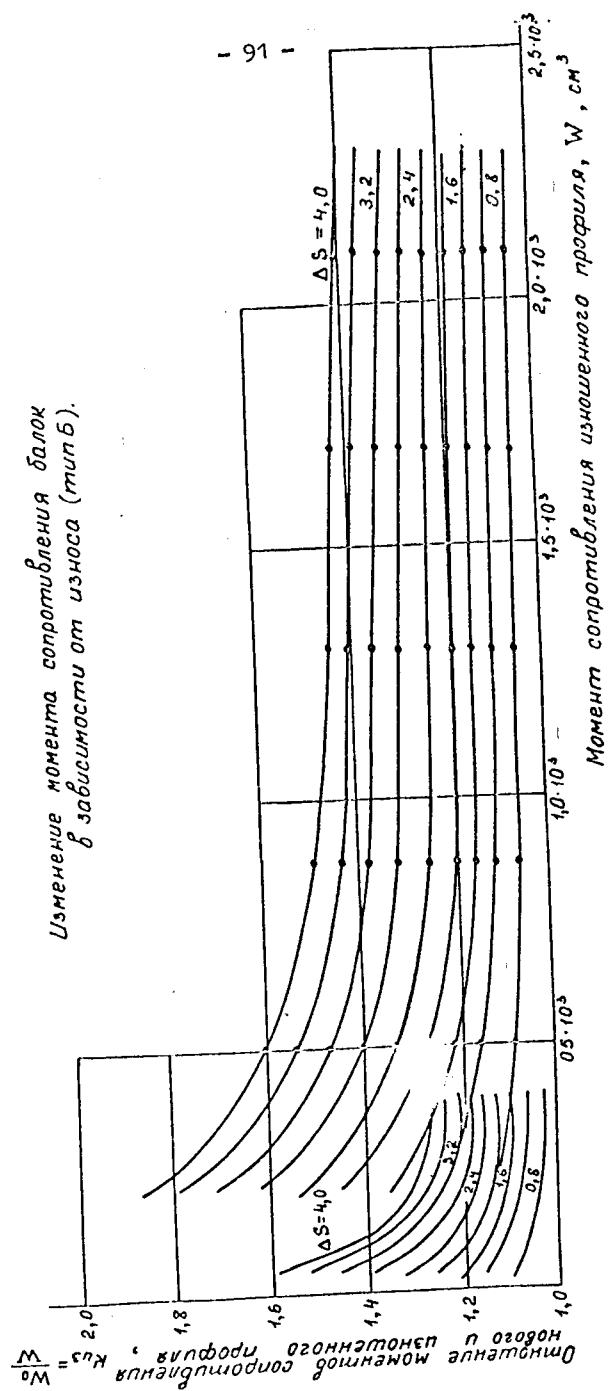
Найденные при этих значениях W поправочные коэффициенты K_u используются в данных случаях в качестве соответствующих коэффициентов пересчета характеристик W_{np} и J *.

Ниже указаны схемы расчета с помощью графиков.

* При значениях W , превышающих указанные на горизонтальных осях приведенных графиков, относительные изменения вследствие износа элементов профиля балки могут быть приняты приближенно пропорциональными относительному изменению толщин их поясков, для которых определяется величина W .

$$K_{\text{из}} = \frac{W}{W_0}$$


Рис. 1



ΔS - уменьшение толщины элементов балки, мм;
 — - полосу балки с присоединенным пояском;
 —•— - табр с присоединенным пояском.

Рис. 2

Проверочный расчет

Заданы:

строительный момент сопротивления W_0 ;

внешняя нагрузка M_p ;

коэффициент допускаемых напряжений K_σ ;

условия эксплуатации, срок службы ΔS ;

нормативный предел текучести σ_T'' .

Определить:

расчетные напряжения и соблюдение условий прочности.

Схема расчета

По графикам типа А в зависимости от W_0 , формы профиля и величины ΔS определяется коэффициент $K_{из}$ и момент сопротивления после износа $W = K_{из} \cdot W_0$

Вычисляется $\sigma = M_p / W$ и величина σ / σ_T'' , которая сравнивается с коэффициентом K_σ .

7.10.12

Проектировочный расчет

Заданы:

внешняя нагрузка M_p ;

коэффициент допускаемых напряжений K_σ ;

условия эксплуатации, срок службы ΔS ;

нормативный предел текучести σ_T'' ;

Определить:

строительный размер связи W_0 .

Схема расчета

Определяется размер связи к середине срока службы $W = \frac{M_p}{K_\sigma \sigma_T''}$

Для полученного W по графикам типа Б в зависимости от ΔS и предполагаемой формы профиля определяется коэффициент $K'_{из}$ и искомое значение $W_0 = K'_{из} W$.