2-139902-006

СБОРНИК
НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга первая

НДN2-09-001
Контрольный
139902 1052



Я
СССР

ЛЕНИНГРАД «ТРАНСПОРТ» 1979
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

В настоящем сборнике публикуются расчетные методики, инструкции и другие нормативные материалы, одобренные Регистром СССР, для использования их при разработке проектов морских судов на класс Регистра СССР. На этот сборник в тексте Правил Регистра СССР имеются ссылки.

Помещенная в сборнике «Методика расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при кручении» выполнена канд. техн. наук Г. О. Таубиным.

«Принципы, положенные в основу требований к делению морских судов на отсеки», «Толкование отдельных пунктов новых Правил деления на отсеки» и «Пример расчета вероятностного индекса А деления на отсеки сухогрузного судна» подготовлены по заданию Регистра СССР канд. техн. наук В. Н. Волковым.

Выпущено по заказу Регистра СССР.

© 31806-458 / 049(01)-79 без объявл.

Регистр СССР, 1979 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Корпус

Методика расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при кручении 4
Приложение 1. Определение силовых и кинематических параметров стесненного кручения 41
Приложение 2. Примеры использования зависимостей для определения секториальных характеристик сечения, приведенных в разд. 4 . . . 46
Приложение 3. Примеры использования зависимостей для определения параметров стесненного кручения, приведенных в разд. 8 73
Методика учета непрерывных продольных комингсов при определении момента сопротивления поперечного сечения корпуса 78

2. Остойчивость и деление на отсеки

Принципы, положенные в основу требований к делению морских судов на отсеки 81
Толкование отдельных пунктов новых правил части V «Деление на отсеки» 87
Пример расчета вероятностного индекса A деления на отсеки сухогрузного судна 110
Инструкция по учету влияния свободных поверхностей жидких грузов на остойчивость судна 118
Методика оценки остойчивости судов на попутном волнении 136

3. Системы и трубопроводы

Требования, предъявляемые Регистром СССР к применению сырой нефти и остатков нефтяного груза в качестве топлива для котлов на нефтеналивных судах 144

УДК 629.12 : 539.4

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ СУДОВ С ШИРОКО РАСКРЫТЫМИ ПАЛУБАМИ ПРИ КРУЧЕНИИ

В отечественной и зарубежной литературе опубликовано много монографий, связанных с расчетом прочности конструкций при кручении.

Большинство авторов основывается при этом на теории стесненного кручения, разработанной советскими учеными В. З. Власовым и А. А. Уманским. Однако для ее непосредственного использования в судостроении необходимо было провести комплексные исследования по определению силовых и кинематических параметров стесненного кручения с учетом особенностей конструкций судов, оценки дополнительных изгибных напряжений в палубных стрингерах, учета переменности секториальных и геометрических характеристик по длине судна и т. п.

Такие комплексные исследования были проведены и наряду с результатами предыдущих работ положены в основу настоящей Методики расчета прочности судов с широко раскрытыми палубами при кручении, являющейся обобщающим материалом, использование которого при соответствующих расчетах предусмотрено Правилами Регистра СССР.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методика предназначается для проверочного расчета прочности судов с широким раскрытием палуб: контейнеровозов, газовозов, сухогрузных судов, перевозящих контейнеры, и т. п.— при тех размерах люков, когда такая проверка регламентируется Правилами классификации и постройки морских судов Регистра СССР.

Проверка прочности предусматривает последовательное определение:

— максимального значения волновых крутящих моментов и суммарного крутящего момента;

— секториальных и геометрических характеристик сечений судна (начальных секториальных площадей, расположения центра кручения от основной линии, главных секториальных площадей, полярного (направленного) момента инерции поперечного сечения, главного секториального момента инерции стесненного кручения, момента инерции свободного кручения, изгибно-крутильной характеристики судна);

— кинематических и силовых параметров стесненного кручения с учетом поперечных перемычек, при расположении машинного

отделения (МО) в кормовой оконечности судна или между грузовыми трюмами,

— местных напряжений в сечениях, где осуществляется сопряжение открытых и закрытых частей корпуса,

— наибольших нормальных и касательных напряжений в сечениях корпуса, перемычках и палубных связях,

— искажение диагоналей и перекосов люков.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН РАСЧЕТНЫХ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ

Расчетные значения волновых крутящих моментов в миделевом сечении в тс·м [Н·м] определяются по выражению

$$M_{кр}=14{,}7C_м B^3 h_р\left(1{,}75-1{,}5\frac{y_{ц.к}}{D}\right)\cdot 10^{-4}$$

$$\left[M_{кр}=14{,}4C_м B^3 h_р\left(1{,}75-1{,}5\frac{y_{ц.к}}{D}\right)\right], \qquad (2.1)$$

где B — ширина судна, м; $h_р$ — расчетная высота волны 10^{-8} обеспеченности (в м) при курсовом угле $\theta=60°$ (рис. 2.1); $C_м$ — коэффициент, зависящий от коэффициента полноты ватерлинии $C_ω$,

$$C_м=(13{,}2-43{,}4C_ω+78{,}9C_ω^2);$$

$y_{ц.к}$ — отстояние центра кручения по вертикали от основной линии, м [см. формулу (4.5)]; D — высота борта, м.

В условиях эксплуатации судна не исключается вероятность

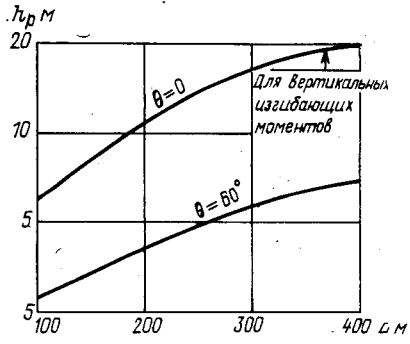


Рис. 2.1

появления крутящих моментов, обусловленных несимметрией загрузки судна относительно ДП. Эти крутящие моменты суммируются с волновыми крутящими моментами. Учет этого производится умножением $M_{кр}$, вычисленного по формуле (2.1), на коэффициент $k=1{,}15$.

Расчетные значения амплитуды крутящего момента для контейнерных судов определяются по формуле $M_{кр}^{рас}=kM_{кр}=1{,}15M_{кр}$.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕСНЕННОГО КРУЧЕНИЯ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ НЕИЗМЕННОСТИ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ПО ДЛИНЕ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ СУДНА

Приводимые расчетные зависимости кинематических и силовых параметров стесненного кручения судов предусматривают рассмотрение открытой части корпуса в виде некоторой балки, концевые

сечения которой испытывают ту или иную степень стеснения депланации в местах их соединения с кормовой и носовой оконечностями судна. Эта степень стеснения депланации характеризуется соответствующими коэффициентами, значения которых предполагаются известными.

На практике встречаются два случая расположения МО по длине судна. В одном из них МО находится в кормовой части судна за грузовыми трюмами (первый случай), в другом — между группой грузовых трюмов и грузовым трюмом, расположенным в корму от него (второй случай). Каждый из упомянутых случаев расположения МО рассматривается отдельно.

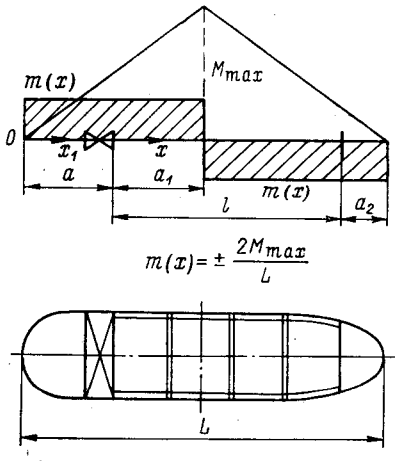


Рис. 3.1

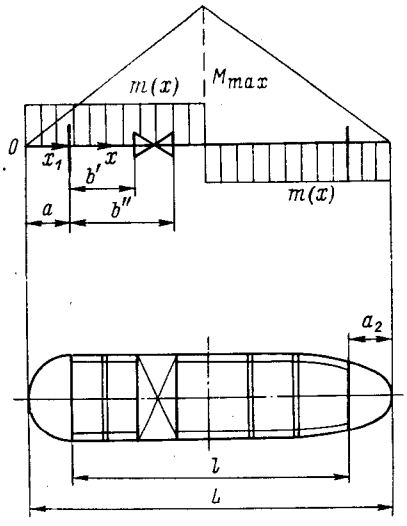


Рис. 3.2

При выводе расчетных зависимостей, приводимых ниже, предполагается, что ординаты крутящих моментов распределены по длине судна симметрично по треугольнику (рис. 3.1 и 3.2).

В приводимых формулах приняты следующие обозначения: α — изгибно-крутильная характеристика; $I^0_\omega = I_\omega \frac{1}{\mu}$ — приведенный момент инерции стесненного кручения; I_ω — секториальный момент инерции стесненного кручения; $\mu = (I_p - I_к)/I_p$ — коэффициент депланации; I_p — полярный (направленный) момент инерции сечения; M_{max} — максимальная ордината внешнего крутящего момента; $m(x)$ — погонная крутящая нагрузка, меняющая знак при $x_1 = L/2$ и равная $\pm 2M_{кр}/L$; $\overline{M}(x)$ и $\overline{\overline{M}}(x)$ — крутящие моменты первого и второго рода, соответственно; $\overline{M}(0)$ и $\overline{\overline{M}}(0)$ — крутящие моменты

первого и второго рода в начале координат; $\overline{M}(l)$ и $\overline{\overline{M}}(l)$ — крутящие моменты первого и второго рода в концевом сечении грузовых трюмов; $B(0)$, $B(x)$ и $B(l)$ — бимоменты в соответствующих сечениях по длине грузовых трюмов (в начале координат, текущие значения и в конце участка грузовых трюмов); $B_k(v_k)$ — сосредоточенный бимомент в k-м сечении, обусловленный наличием поперечной перемычки, расположенной на расстоянии v_k от начала координат. Вычисление значений $B_k(v_k)$ дано в разд. 5; $\varkappa_к$ и $\varkappa_н$ — коэффициенты стеснения и депланации в кормовом и носовом сечении, определяемые по формулам $\varkappa_к = B(0)/\overline{B}(0)$; $\varkappa_н = B(l)/\overline{B}(l)$; $\overline{B}(0)$ и $\overline{B}(l)$ — бимоменты в сечениях, совпадающих с началом отсчета координаты x (начало открытой части судна) и в конце открытой части в предположении полного стеснения депланации данного сечения.

Примечание. Коэффициент стеснения депланации на противоположном конце рассматриваемого участка грузовых трюмов, в том числе и в конце района грузовых трюмов (при $x=l$), может принимать любое значение, отличное от единицы.

$B(b')$ и $B(b'')$ — бимоменты в начале и в конце МО (рис. 3.2); $C(0)$ и $C(l)$ — значения бимоментов, отвечающих полному стеснению депланации обоих концевых сечений грузовых трюмов одновременно; $\varphi(x)$ — угол закручивания сечений, отсчитываемый от начала координат; $\varphi'(x)$ — погонный угол закручивания.

Остальные обозначения (a; L; l; a_1; a_2; b' и b'') см. на рис. 3.1 и 3.2.

Примечание. Как правило, если нет других, проверенных опытом данных, или особых условий, связанных с необычностью конструктивных решений, то при расположении МО в кормовой оконечности следует принимать $\varkappa_к = 1{,}0 \ldots 0{,}8$; $\varkappa_н = 0{,}5 \ldots 0{,}6$. При расположении МО между грузовыми трюмами, наоборот, $\varkappa_к = 0{,}5 \ldots 0{,}6$; $\varkappa_н = 1{,}0$.

Расчетные формулы, полученные из предположения, что изгибно-крутильная характеристика $\alpha = \sqrt{GI_к/EI^0_\omega}$, где $I_к$ — момент инерции свободного кручения, постоянны по длине открытой части судна и определяются как среднее взвешенное значение по нескольким равноотстоящим сечениям в этом районе судна, т. е. $\alpha_{ср} = (\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n)/l$, где α_i — изгибно-крутильная характеристика в рассматриваемом сечении, l — длина грузовых трюмов.

Начало координат x_1 принимается на одном из концевых перпендикуляров (предпочтительнее на кормовом). Координата x отсчитывается от места сопряжения концевого сечения закрытой части судна с сечением, совпадающим с началом грузовых трюмов (рис. 3.1 и 3.2).

Первый случай: МО расположено в кормовой оконечности (рис. 3.1)

Расчетные значения параметров стесненного кручения определяются из следующих зависимостей:

$$\overline{M}(l)=\frac{\alpha \operatorname{sh}\alpha l\,(1-\varkappa_{н})\,[C(0)\,(1-\varkappa_{к})-C(l)\operatorname{ch}\alpha l]}{(1-\varkappa_{к})\,(1-\varkappa_{н})-\operatorname{ch}^2\alpha l}; \qquad (3.1)$$

при $\varkappa_{н}=1{,}0$ $\overline{M}(l)=0$,
при $\varkappa_{к}=1{,}0$

$$\overline{M}(l)=\frac{\alpha \operatorname{sh}\alpha l\,(1-\varkappa_{н})\,C(l)}{\operatorname{ch}\alpha l}; \qquad (3.2)$$

$$\overline{\overline{M}}(0)=\frac{\alpha \operatorname{sh}\alpha l\,(1-\varkappa_{к})\,[C(0)\operatorname{ch}\alpha l-C(l)\,(1-\varkappa_{н})]+\frac{2M_{\max}a}{L}[\operatorname{ch}^2\alpha l-(1-\varkappa_{к})\,(1-\varkappa_{н})]}{\operatorname{ch}^2\alpha l-(1-\varkappa_{к})\,(1-\varkappa_{н})}; \qquad (3.3)$$

при $\varkappa_{к}=1{,}0$ $\overline{\overline{M}}(0)=2M_{\max}a/L$,
при $\varkappa_{н}=1{,}0$

$$\overline{\overline{M}}(0)=\frac{\alpha \operatorname{sh}\alpha l\,(1-\varkappa_{к})\,C(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}\operatorname{ch}^2\alpha l}{\operatorname{ch}^2\alpha l}; \qquad (3.4)$$

$$C(0)=\frac{1}{\alpha \operatorname{sh}\alpha l}\left\{\frac{2M_{\max}a}{L}(1-\operatorname{ch}\alpha l)-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha l-\alpha l)+\right.$$

$$\left.+\frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\operatorname{sh}\alpha(l-a_1)-\alpha(l-a_1)]\right\}-\sum_{k=1}^{k=n}B_k\operatorname{sh}\alpha(l-v_{к}); \qquad (3.5)$$

$$C(l)=\frac{2M_{\max}a}{L}-\frac{\operatorname{sh}\alpha l}{\alpha}+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2L}(\operatorname{ch}\alpha l-1)+c(0)\operatorname{ch}\alpha l-$$

$$-\frac{4M_{\max}}{\alpha^2L}[\operatorname{ch}\alpha(l-a)-1]+\sum_{k=1}^{k=n}B_k\operatorname{ch}\alpha(l-v_k); \qquad (3.6)$$

$$B(0)=C(0)+\frac{\frac{2M_{\max}a}{L}\operatorname{ch}\alpha l-\overline{M}(l)-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha l}{\alpha \operatorname{sh}\alpha l}; \qquad (3.7)$$

при $\varkappa_{k}=1{,}0$ и $\varkappa_{н}=1{,}0$
$\overline{B}(0)=C(0)$;

$$B(x)=\frac{\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{sh}\alpha x}{\alpha}+B(0)\operatorname{ch}\alpha x+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2L}(\operatorname{ch}\alpha x-1)-$$

$$-\Big\|_{x>a}\frac{4M_{\max}}{\alpha^2L}[\operatorname{ch}\alpha(x-a_1)-1]+\sum_{k=1}^{k=n}B_k\operatorname{ch}\alpha(x-v_k); \qquad (3.8)$$

$$B(l)=\frac{\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{sh}\alpha l}{\alpha}+B(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2L}(\operatorname{ch}\alpha l-1)-$$

$$-\frac{4M_{\max}}{\alpha^2L}[\operatorname{ch}\alpha(l-a_1)-1]+\sum_{k=1}^{k=n}B_k\operatorname{ch}\alpha(l-v_k); \qquad (3.9)$$

$$\overline{M}(0)=\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0); \tag{3.10}$$

$$\overline{M}(x)=\overline{M}(0)-\overline{\overline{M}}(0)(\operatorname{ch}\alpha x-1)-B(0)\,\alpha\operatorname{sh}\alpha x-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}\times$$
$$\times(\operatorname{sh}\alpha x-\alpha x)+\Big\|_{x>a_1}\frac{4M_{\max}}{\alpha L}\left[(\operatorname{sh}\alpha(x-a_1)-\alpha(x-a_1)\right]-$$
$$-\sum_{k=1}^{k=n}B_k\alpha\operatorname{sh}\alpha(x-v_k); \tag{3.11}$$

$$\overline{\overline{M}}(l)=\frac{2M_{\max}a_2}{L}-\overline{M}(l); \tag{3.12}$$

$$\overline{\overline{M}}(x)=M_{\text{кр}}-\overline{M}(x); \tag{3.13}$$

$$\varphi(x)=\frac{\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{sh}\alpha x}{\alpha GI_{\text{к}}}-\frac{B(0)}{GI_{\text{к}}}(\operatorname{ch}\alpha x-1)+\frac{2M_{\max}ax}{LGI_{\text{к}}}+$$
$$+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2LGI_{\text{к}}}\left[1-\operatorname{ch}\alpha x+\frac{\alpha x^2}{2}\right]-\Big\|_{x>a_1}\frac{4M_{\max}}{\alpha^2LGI_{\text{к}}}\times$$
$$\times\left[1-\operatorname{ch}\alpha(x-a_1)+\frac{\alpha^2(x-a_1)^2}{2}\right]+\Big\|_{x>v_k}\sum_{k=1}^{k=n}\frac{B_k}{GI_{\text{к}}}\times$$
$$\times[1-\operatorname{ch}\alpha(x-v_k)]; \tag{3.14}$$

$$\varphi'(x)=\frac{\overline{M}(x)}{GI_{\text{к}}}. \tag{3.15}$$

Второй случай: МО расположено между грузовыми трюмами (рис. 3.2)

Расчетные значения параметров стесненного кручения определяются из следующих зависимостей:

$$B(0)=\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha b^1}\left[\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b'-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{ch}\alpha b'-\alpha b')\right]; \tag{3.16}$$

$$\overline{\overline{M}}(0)=\frac{1}{\operatorname{ch}\alpha b'}\left[\frac{2M_{\max}a}{L}(1-\varkappa_{\text{к}}+\varkappa_{\text{к}}\operatorname{ch}\alpha b')-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}\times\right.$$
$$\left.\times(\operatorname{sh}\alpha b'-\alpha b')(1-\varkappa_{\text{к}})\right]; \tag{3.17}$$

$$B(b')=\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(b''-b')}\left[-B(0)\,\alpha\operatorname{ch}\alpha b''+\frac{2M_{\max}a}{L}-\right.$$
$$\left.-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b''-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b''-\alpha b'')\right]; \tag{3.18}$$

$$B(b'')=\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}\left\{-B(0)\,\alpha\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b''-\right.$$
$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha l-\alpha l)+\frac{4M_{\max}}{\alpha L}\left[\operatorname{sh}\alpha(l-a_1)-\alpha(l-a_1)\right]-$$
$$\left.-B(b')\,\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b')\right\}-\frac{M(l)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}; \tag{3.19}$$

$$B(l)=B(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2 L}(\operatorname{ch}\alpha l-1)-$$

$$-\frac{4M_{\max}}{\alpha^2 L}[\operatorname{ch}\alpha(l-a_1)-1]+B(b')\operatorname{ch}\alpha(l-b')+B(b'')\operatorname{ch}\alpha(l-b''); \tag{3.20}$$

$$\left.\begin{aligned}\overline{M}(l)&=\frac{(1-\varkappa_{\text{н}})\,\overline{B}(l)\,\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}{\operatorname{ch}\alpha(l-b'')};\\ \overline{B}(l)&=B(l)+\frac{\overline{M}(l)\operatorname{ch}\alpha(l-b'')}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}.\end{aligned}\right\} \tag{3.21}$$

Величины $\overline{B}(l)$ и $\varphi(x)$ представим в более развернутом виде:

$$\overline{B}(l)=B(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2 L}(\operatorname{ch}\alpha l-1)-$$

$$-\frac{4M_{\max}}{\alpha^2 L}[\operatorname{ch}\alpha(l-a_1)-1]+B(b')\operatorname{ch}\alpha(l-b')+$$

$$+\left\{-B(0)\alpha\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha l-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}\times\right.$$

$$\times\left(\operatorname{sh}\alpha l-\alpha l\right)+\frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\operatorname{sh}\alpha(l-a_1)-\alpha(l-a_1)]-$$

$$\left.-B(b')\operatorname{ch}\alpha(l-b')\right\}\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}; \tag{3.22}$$

$$\varphi(x)=\frac{B(0)}{GI_{\text{к}}}(1-\operatorname{ch}\alpha x)+\frac{\frac{2M_{\max}a}{L}x}{GI_{\text{к}}}-\frac{\overline{M}(0)}{\alpha GI_{\text{к}}}\operatorname{sh}\alpha x+$$

$$+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2 LGI_{\text{к}}}\left[1-\operatorname{ch}\alpha x+\frac{(\alpha x)^2}{2}\right]-\Big\|_{x>a}\frac{4M_{\max}}{\alpha^2 LGI_{\text{к}}}\times$$

$$\times\left[1-\operatorname{ch}\alpha(x-a)+\frac{\alpha^2(x-a_1)^2}{2}\right]+\Big\|_{x>b'}\frac{B(b')}{GI_{\text{к}}}\times$$

$$\times[1-\operatorname{ch}\alpha(x-b')]+\Big\|_{x>b''}\frac{B(b'')}{GI_{\text{к}}}[1-\operatorname{ch}\alpha(x-b'')]. \tag{3.23}$$

Примечание. Вариант расчета, основанный на предположении полного стеснения депланации открытых сечений корпуса при $x=b'$ и $x=b''$, тем ближе к действительности, чем больше относительная протяженность МО.

В качестве проверочного расчета, направленного с заведомым запасом в благоприятную сторону, можно при определении упомянутых кинематических параметров рассматривать палубный настил в районе МО как широкую перемычку и определять возникающий здесь сосредоточенный бимомент с использованием приемов, изложенных в разделе 2.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕКТОРИАЛЬНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ КОРПУСА

Основные характеристики сечения, подлежащие определению: положение центра кручения (центра изгиба) относительно основной линии; распределение главных секториальных площадей по сечению; секториальный момент инерции сечения; полярный момент инерции сечения; момент инерции чистого (Сен-Венанова) кручения; моменты инерции сечения относительно главных осей.

Для определения упомянутых параметров подлежат вычислению линейный секториальный статический момент, секториальный статический момент и изгибно-крутильная характеристика.

Вычисления секториальных и геометрических характеристик выполнялись при следующих допущениях:

1) обводы судна принимались прямоугольного очертания, состоящими из прямых граней, сопрягаемых друг с другом под различными углами, обусловливаемыми наиболее подходящей аппроксимацией реальных обводов судна;

2) площадь сечений ребер жесткости включалась в площадь сечений соответствующих граней;

3) поперечным искажением контура при вычислении секториальных и геометрических характеристик пренебрегалось;

4) в расчетное сечение включались все связи, входящие в эквивалентный брус за исключением конструкций, расположенных в районе ДП.

Порядок выполнения расчетов

На длине грузовых трюмов, в зависимости от наличия или отсутствия цилиндрической вставки, выбираются одно или несколько сечений, отличающихся друг от друга очертаниями и размерениями, а также конструктивным оформлением (в частности, сечения по миделю и в местах сопряжения открытых и закрытых частей корпуса). Осуществляется схематизация поперечных сечений путем замены искривленных листов обшивки прямыми гранями приведенной толщины, вычисляемой по формуле

$$t_{\text{пр}} = \frac{t_i l_i + \sum F_{\text{п}}}{l_i}, \tag{4.1}$$

где t_i и l_i — толщина и длина рассматриваемой грани; $\sum F_{\text{п}}$ — суммарная площадь сечения ребер в пределах этой грани.

При вычислении секториальных площадей связей корпуса, входящих в состав поперечного сечения, учитывается деформация сдвига в замкнутых контурах. Вычисления секториальных площадей производятся по следующим формулам:

для открытых элементов

$$\omega_s = \int_0^s h_{0s}\, ds, \tag{4.2}$$

для замкнутых элементов (закрытых контуров)

$$\omega_s^0 = \int_0^s \left(h_{0s} - q_i \frac{t_o}{t_{is}}\right) ds. \qquad (4.3)$$

Здесь ω_s и $\overset{0}{\omega}_s$ — секториальные площади; 0 и s — точки, расположенные на концах рассматриваемых граней; h_{0s} — отстояние по перпендикуляру от полюса (точки отсчета 0) до рассматриваемой грани; q_i — функции циркуляции касательных усилий (постоянная величина в пределах каждого замкнутого контура), определяемые из решения системы уравнений циркуляции

$$q_i \sum_1^n \frac{l_s t_0}{t_{is}} - \sum_{j=1}^{j=m} q_j \frac{l_j t_0}{t_j} = 2F_i, \qquad (4.4)$$

где t_{is} и l_s — толщина и длина s-й грани замкнутого контура; n — число этих граней в данном контуре (обычно $n = 4$); t_0 — толщина одной из граней данного поперечного сечения, введенная для удобства вычислений; q_j — функция циркуляции напряжений в смежных контурах; l_j и t_j — грани рассматриваемого контура, которые одновременно принадлежат смежным контурам; m — число таких общих граней (обычно $m = 2$ или 1); $2F_i$ — удвоенная площадь i-го замкнутого контура, образованная средней по толщине линией периметра.

Построение эпюры начальных секториальных площадей

Ввиду симметрии корпуса определение секториальных характеристик выполняется для одного полусечения.

В качестве начальной точки отсчета (полюса) обычно принимается точка пересечения диаметральной плоскости (ДП) с наружной обшивкой днища.

Знак секториальной координаты любой точки, находящейся на контуре, принимается в зависимости от того, поворачивается ли выбранный радиус-вектор при определении секториальной площади по или против часовой стрелки. Для возможного сопоставления результатов при выполнении расчетов для различных судов целесообразно раз и навсегда принять при повороте против часовой стрелки знак «—», при повороте по часовой стрелке — знак «+».

Так как в пределах каждой грани эпюра секториальных площадей изменяется по линейному закону, значения ω_s вычисляются только в узловых точках, для которых вводятся цифровые или буквенные обозначения.

По мере обхода контура от начальной точки отсчета, ординаты секториальных площадей в узловых точках складываются алгебраически. Вычисление секториальных характеристик может осуществляться в табличной форме с использованием вычислительных программ.

Определение положения центра кручения

Обозначение главных осей инерции в плоскости поперечного сечения принимается по рис. 4.1.

Вследствие симметрии сечения центр кручения находится в ДП. Отстояние центра кручения от основной линии определяется по формуле

$$y_{\text{ц. к}} = -\frac{\oint \omega_i x_i \, dF_i}{Iy} = -\frac{\sum_i \omega_i x_i F_i}{I_y}, \tag{4.5}$$

где $\oint \omega_i x_i \, dF_i = \overset{0}{S}_w$ — линейный секториальный статический момент; I_y — момент инерции сечения относительно главной оси y, определяемый по формуле

$$I_y = \sum_{i=1}^{i=n} (F_i x_i^2 + i_{\text{соб}}), \tag{4.6}$$

где n — число рассматриваемых связей; ω_i — начальная секториальная площадь открытых и замкнутых контуров.

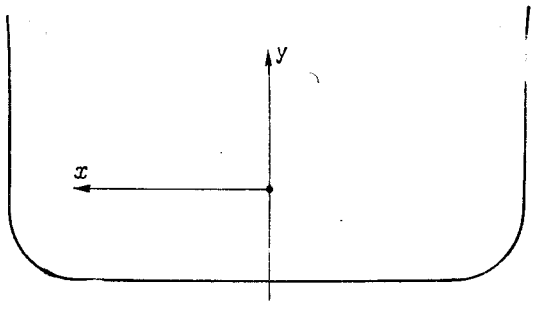


Рис. 4.1

Вычисление $\sum \overset{0}{\omega}_i x_i F_i$ удобно производить в табличной форме (или другим способом) соответствующим перемножением ординат прямоугольных эпюр начальных секториальных площадей в узловых точках каждой грани на отстояния x этих точек от ДП.

В табл. 4.1 приводятся формулы, позволяющие определять вычисление интеграла $\int \overset{0}{\omega}_i x \, ds = \sum \overset{0}{\omega}_i x_i l_i$ при различном изменении эпюр $\overset{0}{\omega}_i$ и x_i по длине каждой из рассматриваемых граней.

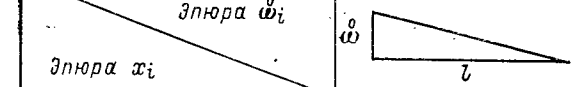
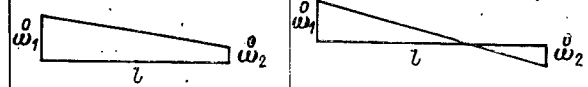
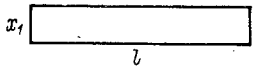
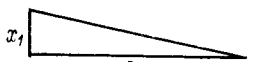
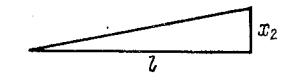
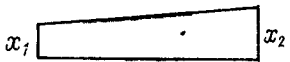
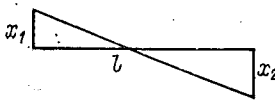
Определение I_y выполняется обычным способом.

Построение эпюры главных секториальных площадей

Ординаты эпюры главных секториальных площадей замкнутых контуров определяются по формуле

$$\hat{\omega}_i = \overset{0}{\omega}_i + y_{\text{ц. к}} x_i, \tag{4.7}$$

Таблица 4.1

Эпюра $\overset{0}{\omega}_i$ / Эпюра x_i			
	$\frac{1}{3}\overset{0}{\omega}x_1 l$	$\frac{1}{2}(\overset{0}{\omega}_1+\overset{0}{\omega}_2)x_1 l$	$\frac{1}{2}(\overset{0}{\omega}_1-\overset{0}{\omega}_2)x_1 l$
	$\frac{1}{3}\overset{0}{\omega}x_1 l$	$\frac{1}{6}(2\overset{0}{\omega}_1+\overset{0}{\omega}_2)x_1 l$	$\frac{1}{6}(2\overset{0}{\omega}_1-\overset{0}{\omega}_2)x_1 l$
	$\frac{1}{6}\overset{0}{\omega}x_2 l$	$\frac{1}{6}(\overset{0}{\omega}_1+2\overset{0}{\omega}_2)x_2 l$	$\frac{1}{6}(\overset{0}{\omega}_1-2\overset{0}{\omega}_2)x_2 l$
	$\frac{1}{6}\overset{0}{\omega}(2x_1+x_2)l$	$\frac{l}{6}[\overset{0}{\omega}_1(2x_1+x_2)+\omega_2(x_1+2x_2)]$	$\frac{l}{6}[\overset{0}{\omega}_1(2x_1+x_2)-\overset{0}{\omega}_2(x_1+2x_2)]$
	$\frac{1}{6}\overset{0}{\omega}(2x_1-x_2)l$	$\frac{l}{6}[\overset{0}{\omega}_1(2x_1+x_2)-\overset{0}{\omega}_2(x_1+2x_2)]$	$\frac{l}{6}[\overset{0}{\omega}_1(2x_1-x_2)-\overset{0}{\omega}_2(x_1-2x_2)]$

где $\overset{0}{\omega}_i$ — начальная секториальная площадь, вычисленная по приведенным выше формулам; $y_{\text{п. к}}$ — ордината центра кручения от основной (вводится в формулу со знаком «—»); x_i — отстояние рассматриваемой точки от ДП.

Секториальная площадь открытых участков, примыкающих к замкнутому контуру, определяется по формуле

$$\widehat{\omega}_i = \widehat{\omega}_{i-1} + h_i l_i, \tag{4.8}$$

где h_i — отстояние от центра кручения до i-й незамкнутой грани; l_i — длина i-й грани; $\widehat{\omega}_{i-1}$ — главная секториальная площадь точки, принадлежащей одновременно замкнутому контуру и рассматриваемой грани.

Для проверки правильности сделанных вычислений следует убедиться, что линейный секториальный статический момент главных секториальных площадей относительно полученного положения центра кручения равен нулю.

Примечание. Если площади стенок днищевых и бортовых стрингеров, вертикального киля и комингсов для упрощения вычислений (на стадии предварительных расчетов) заменяются сосредоточенными площадями, в месте их расположения определение линейного секториального статического момента производится по формуле

$$s\omega_y = \sum_i \overset{0}{\omega}_i x_i F_i + \sum_i \overset{0}{\omega}_j x_j F, \tag{4.9}$$

где $\overset{0}{\omega}_j$ — начальная секториальная площадь в месте нахождения сосредоточенной площади; x_j — отстояние этой сосредоточенной площади от ДП.

При наличии двойного дна и двойного борта сосредоточенные площади равными долями разносятся на наружную обшивку, второе дно и двойные борта соответственно.

Определение главного секториального момента инерции сечения

Главный секториальный момент инерции сечения определяется по формуле

$$I\widehat{\omega} = \sum_n t_i \int_0^l \widehat{\omega}_i^2 \, ds = \sum_n t_i \sum_l \widehat{\omega}_i^2 l_i. \tag{4.10}$$

Определение $I\widehat{\omega}$ может производиться как с помощью вычислительных машин, так и ручным способом. В последнем случае рекомендуется осуществлять это в табличной форме (табл. 4.2).

Вычисление интеграла $\int_0^l \widehat{\omega}^2 \, ds = \sum \widehat{\omega}^2 l$ производится с помощью табл. 4.3.

Таблица 4.2

Вычисление интеграла $\int_0^l \hat{\omega}^2 ds$

Обозначения узловых точек грани	Значения ординат $\hat{\omega}_i$ в узловых точках	$\sum_i \hat{\omega}_i^2 l_i$	Длина грани l_i	Толщина грани t_i	$t_i \sum \hat{\omega}_i^2 l_i$
					$J_{\hat{\omega}} = 2 \sum \hat{\omega}_i^2 x t_i l_i$

Примечания: 1. Вычисление $\Sigma \hat{\omega}_i^2 l_i$ в пределах каждой грани производится в соответствии с табл. 4.2.

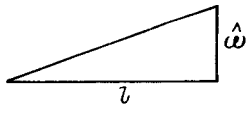
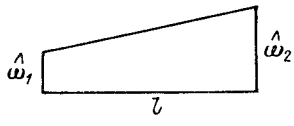
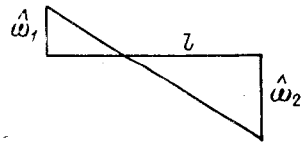
2. Наличие сосредоточенных площадей учитывается дополнительным слагаемым в формуле для главного секториального момента инерции сечения

$$I\hat{\omega} = \sum_n t_i \sum_i \hat{\omega}_i^2 l_i + \sum_j \hat{\omega}_j^2 f_j,$$

где ω_j — главная секториальная площадь в месте расположения рассматриваемой сосредоточенной площади.

Таблица 4.3

Вычисление интеграла $\int_0^l \hat{\omega}^2 ds = \Sigma \hat{\omega}^2 l$

$\hat{\omega}$	$\Sigma \hat{\omega}_i^2 l_i$
	$\frac{\hat{\omega}^2 l}{3}$
	$\frac{l}{3}(\hat{\omega}_1^2 + \hat{\omega}_1 \hat{\omega}_2 + \hat{\omega}_2^2)$
	$\frac{l}{3}(\hat{\omega}_1^2 - \hat{\omega}_1 \hat{\omega}_2 + \hat{\omega}_2^2)$

Определение полярного момента инерции

Полярный момент инерции определяется по формуле

$$I_p = \int h_i^2 dF = \sum_i h_{i\text{ц. к}}^2 t_i l_i,$$

где $h_{i\text{ц. к}}$ — кратчайшее расстояние (по перпендикуляру) от центра кручения до i-й грани; t_i, l_i — толщина и длина i-й грани, соответственно.

Определение момента инерции чистого (Сен-Венанова) кручения

Многосвязные контуры (замкнутые)

$$I_к = t_0 \sum_1^n q_i (2F_i), \tag{4.11}$$

где n — число замкнутых контуров.

Односвязные контуры (незамкнутые)

$$I_к = \frac{\sum l_i t_i^3}{3}. \tag{4.12}$$

При наличии в сечении корпуса замкнутых контуров учетом незамкнутых контуров при вычислении $I_к$ можно пренебречь.

Определение коэффициента депланации $\mu = \frac{I_p - I_к}{I_p}$

Определение моментов инерции сечения относительно главных осей производится по общеизвестным формулам.

5. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ СТЕСНЕННОГО КРУЧЕНИЯ

Сосредоточенные бимоменты, приложенные в местах крепления поперечных перемычек к палубному стрингеру, определяются из условий их участия в восприятии усилий при скручивании корпуса судна.

Расчетные зависимости для судов с одинарными люками

Поперечная перемычка рассекается в диаметральной плоскости и в местах разреза прикладываются две равные и противоположно направленные силы X_k (рис. 5.1). При этом условие неразрывности деформаций выражается зависимостью

$$W_{1k} = W_{2k}, \tag{5.1}$$

где W_{1k} — продольное перемещение конца k-й полуперемычки, обусловленное общим скручиванием корпуса; W_{2k} — продольное перемещение k-й полуперемычки в месте ее разреза под действием силы X_k с учетом ее изгиба, сдвига и поворота в опорном сечении;

$$W_{1k} = -\frac{\hat{\omega}_{\text{дп}} \overline{M}(x_k)}{GI_к}; \tag{5.2}$$

$$W_{2k} = \frac{X_k b_k^3}{3E_{i_k}}(1 + k_1) + X_k \bar{\nu}_k b_k^2. \tag{5.3}$$

В этих зависимостях $\widehat{\omega}_{дп}$ — главная секториальная площадь сечения судна в месте разреза; $\overline{M}(x_k)$ — крутящий момент первого рода в месте расположения k-й перемычки; $I_к$ — момент инерции свободного кручения; X_k — сосредоточенная сила (подлежащая определению) в месте разреза k-й перемычки; i_k — момент инерции поперечного сечения перемычки при ее изгибе в горизонтальной плоскости; k_1 — коэффициент, учитывающий влияние сдвига на величину продольного перемещения конца полуперемычки,

$$k_1 = \frac{3E i_k}{G f_{kср} b_k^2}.$$

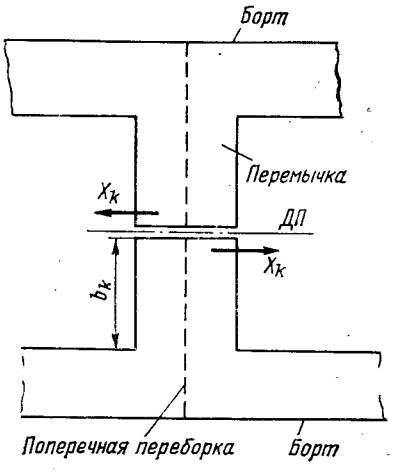


Рис. 5.1

Здесь $f_{kср}$ — приведенная площадь среза сечения k-й перемычки,

$$f_{kср} = \frac{i_k t_k}{S_k}$$

где i_k — момент инерции поперечного сечения k-й перемычки относительно вертикальной оси; t_k — толщина стенки k-й перемычки; S_k — статический момент площади поперечного сечения k-й перемычки, лежащей выше нейтральной оси относительно этой оси; $\bar{v}_k$ — угол поворота опорного сечения от единичного момента k-й полуперемычки, X_k, $\bar{v}_k$, b_k^2 — перемещение конца этой полуперемычки вследствие изгиба палубного стрингера как балки, лежащей

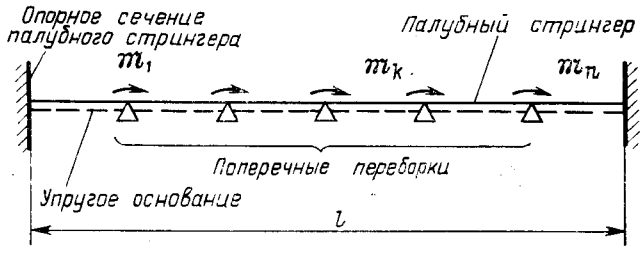


Рис. 5.2

на упругом основании k_0, создаваемом бортовым набором под действием совокупных изгибающих моментов $X_{iп} b_{iп} = M_{iп}$, приложенных в месте крепления всех m полуперемычек к палубному стрингеру (рис. 5.2).

При наличии поперечных перемычек в виде коробчатых балок определение i_k и $f_{k\text{ср}}$ производится обычным образом. Скручиванием поперечных перемычек из-за внецентренного приложения продольных усилий пренебрегается.

Сосредоточенный бимомент в месте расположения k-й поперечной перемычки

$$B_k = 2X_k \hat{\omega}_{\text{дп}}. \tag{5.4}$$

Система зависимости (5.1) при одинарных люках будет иметь вид

$$X(\bar{\delta}_{i_i} + \delta_{i_q}) + \sum_{k=1}^{k=m} X_i \delta_{i_k} = 0 \tag{5.5}$$

где $\bar{\delta}_{i_i}$ — смещение конца i-й полуперемычки от единичной силы, приложенной в этом месте

$$\bar{\delta}_{i_i} = \frac{b_i^2}{3E_{i_i}}(1 + k_1) + \bar{\nu}_i b_i^2; \tag{5.6}$$

δ_{i_q} — смещение конца i-й полуперемычки под действием единичной внешней крутящей нагрузки

$$\delta_{i_q} = \frac{\hat{\omega}_{\text{дп}}}{GI_{\text{к}}} \bar{M}(m_{\text{кр}}); \tag{5.7}$$

$\bar{M}(m_{\text{кр}})$ — составляющая крутящего момента от единичной нагрузки, определяемая по выражению (3.11) без учета сосредоточенных бимоментов; δ_{i_k} — смещение i-й полуперемычки вследствие общей депланации корпуса от единичного бимомента, приложенного в месте расположения k-й полуперемычки,

$$\delta_{i_k} = \frac{\hat{\omega}_{\text{дп}}}{GI_{\text{к}}} \bar{M}_{B_i}; \tag{5.8}$$

$\bar{M}_{B_i}$ — составляющая единичного крутящего момента первого рода, определяемая из выражения (3.11), только от действия единичных сосредоточенных бимоментов.

Примечание. Сосредоточенный бимомент B_k заменяется зависимостью — см. (5.4) $B_k = 2X_k \hat{\omega}_{\text{дп}}$.

Выражение (5.5) имеет вид

$$\left.\begin{aligned}
(\delta_{11} + \bar{\delta}_{11}) X_1 + \ldots + \delta_{1n} X_n + \delta_{1q} = 0,\\
\delta_{21} X_2 + (\delta_{22} + \bar{\delta}_{22}) X_2 + \ldots + \delta_{2n} X_n + \delta_{2q} = 0,\\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
\delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_2 + \ldots + (\delta_{nn} + \bar{\delta}_{nn}) X_n + \delta_{nq} = 0.
\end{aligned}\right\} \tag{5.9}$$

При наличии по высоте судна многих палуб для каждой из них делаются аналогичные выкладки. Суммарные значения

бимоментов, возникающих в данном сечении, определяются по формуле

$$\sum_1^n B_i = 2\sum_1^n X_{in}\hat{\omega}_{in_{ДП}}.$$

где n — число рассматриваемых палуб; $\omega_{in_{ДП}}$ — секториальная площадь сечения y места разреза i-й перемычки каждой из n палуб, при условии, что перемычки совмещены по длине судна.

Жесткость упругого основания $\overline{k}_0$, образуемая поперечным набором для палубного стрингера каждой из палуб, определяется в зависимости от конструктивной схемы поперечного сечения корпуса из условия действия единичной погонной силы, приложенной на уровне соответствующей палубы (рис. 5.3).

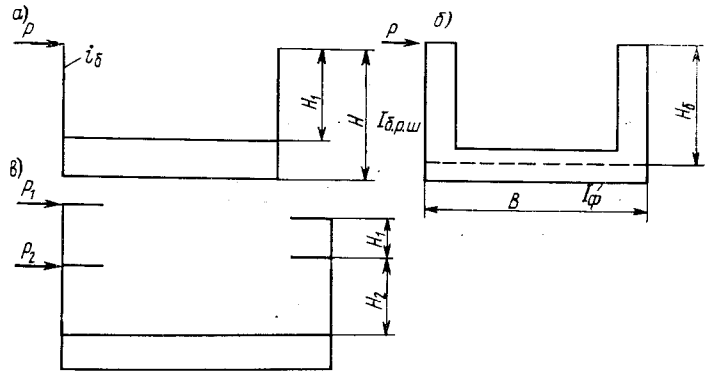


Рис. 5.3. Схемы поперечных сечений корпуса судна:

$а$ — для $k_0 = \dfrac{3E i_{б.ш}}{cH_1^3}$, где c — шпация бортового набора; $i_{б.ш}$ — момент инерции сечения бортового шпангоута; $б$ — для $k_0 = \dfrac{1}{\left(\dfrac{H^3}{3EI_б} + \dfrac{H^2B}{6EI_ф}\right)c}$, где $I_ф$ — момент инерции поперечного сечения флора; $I_{б.р.ш.}$ момент инерции поперечного сечения бортового рамного шпангоута; $в$ — для $k_{01} = \dfrac{1}{\left(\dfrac{H_1^3}{3E i_б} + \dfrac{H_2 H_1^2}{4E i_б}\right)c}$ и $k_{02} =$

$$= \frac{6E_i}{H_2^2(3H_1+2H_2)+H_2^2\left\{\frac{3}{2}\frac{H_1(2H_1+H_2)}{2(H_1+H_2)^2}-\left[1-\frac{H_2^2}{(H_1+H_2)^2}\left(3-\frac{H_2}{H_1+H_2}\right)\right]\right\}c}$$

Расчетные зависимости для судов с двумя рядами люков

В этом случае для определения неизвестных бимоментов, приложенных в местах крепления поперечных перемычек к бортовым стрингерам, используется тот же метод, что и при одинарных люках.

Поперечная перемычка, рассекается в сечениях, показанных на рис. 5.4.

При выводе расчетных формул используются следующие обозначения:

X_k — неизвестная сила в месте разреза k-й перемычки; M_k — неизвестный момент в месте разреза k-й перемычки; i_k — момент инерции поперечного сечения k-й перемычки относительно вертикальной оси; $I_{\text{п. с}}$, $I_{\text{п. п}}$ — моменты инерции палубного стрингера и продольного пояса, соответственно, относительно вертикальной оси; n — число палуб; m_n — число поперечных перемычек на каждой из n палуб; $\widehat{\omega}_{\text{п. п}}$ — секториальная площадь сечения корпуса в месте условного разреза перемычки; $\widehat{\omega}_{\text{п. с}}$ — секториальная площадь сечения корпуса в месте соединения перемычки с палубным стрингером; $I^0_{\widehat{\omega}}$ — секториальный момент инерции поперечного сечения корпуса; $f_{k\text{ср}}$ — приведенная площадь сечения k-й перемычки; $\bar{\nu}$ — угол поворота опорного сечения палубного стрингера от единичного

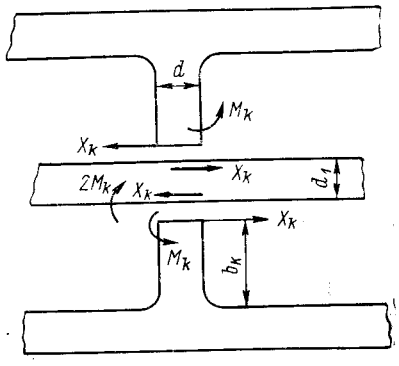


Рис. 5.4

момента; $b_к$ — расстояние между местом разреза перемычки и ее креплением к палубному стрингеру; d_1 — ширина продольного пояса; k_1 — коэффициент, учитывающий влияние сдвига на величину продольного перемещения в месте разреза перемычки:

$$k_1 = \frac{3E i_k}{G f_{k\text{ср}} b_k^2},$$

$f_{\text{ср}}$ — приведенная площадь сечения перемычки; $\mathfrak{M}_{\text{к. п. с}}$ — опорный момент в месте соединений k-й перемычки с палубным стрингером:

$$\mathfrak{M}_{\text{к. п. с}} = X_k b_k - M_k;$$

$\mathfrak{M}_{\text{п. п}}$ — реактивный момент, возникающий в продольном поясе:

$$\mathfrak{M}_{\text{к. п. п}} = 2M_k - X_k d_1.$$

Используемые общие деформационные условия раскрытия статической неопределимости

Уравнения неразрывности деформаций

$$W_{1k} = W_{2k} \text{ и } \varphi_{1k} + \varphi_{2k} = \varphi_{3k}. \qquad (5.10)$$

Таких уравнений, независимых для каждой из n палуб, составляется столько, сколько поперечных перемычек принимается в расчет для каждой из них.

Здесь: W_{1k} — продольное перемещение конца k-й полуперемычки, обусловленное общим скручиванием корпуса; W_{2k} — продольное перемещение k-й полуперемычки в месте ее разреза под действием силы X_k и момента M_k с учетом ее изгиба, сдвига и поворота в месте соединения с палубным стрингером; φ_{1k} — угол поворота k-й полуперемычки, обусловленный общим скручиванием корпуса; φ_{2k} — угол поворота k-й полуперемычки в месте ее разреза под действием силы X_k и момента M_k с учетом ее изгиба, сдвига и поворота в месте соединения с палубным стрингером; φ_{3k} — угол поворота предельного пояса в месте его соединения с k-й поперечной перемычкой.

$$W_{1k}=-\frac{\hat{\omega}_{\text{п. п}}}{GI_{\text{к}}}\overline{M}(x_k) \tag{5.11}$$

где $\overline{M}(x_k)$ — значение крутящего момента первого рода в месте расположения перемычки;

$$W_{2k}=\frac{X_k b_k^3}{3E_{i_k}}(1-k_1)+X_k\bar{\nu}_k b_k^2-\frac{M_{\text{к}} b_k^2}{2E_{i_k}}+\bar{\nu}_k M_{\text{к}} b_k, \tag{5.12}$$

$$\varphi_{1k}=\frac{(\hat{\omega}_{\text{п. п}}-\hat{\omega}_{\text{п. с}})}{GI_{\text{к}}b_k}\overline{M}(x_k); \tag{5.13}$$

$$\varphi_{2k}=\frac{X_k b_k^2}{2E_{i_k}}+\frac{X_k}{Gf_{\text{к. ср}}}-\frac{M_k b_k}{Ei_k}+\bar{\nu}_k(X_k b_k-M_{\text{к}}). \tag{5.14}$$

где $\frac{X_k}{Gf_{\text{к. ср}}}$ — составляющая угла поворота от сдвига.

Угол поворота φ_{3k} продольного пояса в месте пересечения с k-й перемычкой определяется из схемы его загрузки, приведенной на рис. 5.5.

Действующие в продольном поясе изгибающие моменты

$$\mathfrak{M}_{k\text{п. п}}=2M_k-X_k d_1, \tag{5.15}$$

где d_1 — ширина продольного пояса.

Искомый угол поворота продольного пояса в месте соединения с k-й поперечной перемычкой

$$\varphi_{3k}=\frac{l^2}{EI_{\text{п. п}}}F(M_k, X_k), \tag{5.16}$$

где функция $F(M_k, X_k)$ определяется формулами строительной механики для каждого частного случая.

Недостающее число уравнений, необходимое для определения трех неизвестных параметров в месте расположения k-й перемычки (B_k, M_k, X_k), определяется из условия

$$B_k=2(X_k\hat{\omega}_{\text{п. п}}-M_k y_{n\text{ ц. к}}).$$

Здесь $y_{пц.к}$ — отстояние плоскости палубы, в которой расположена рассматриваемая поперечная перемычка до оси центра кручения в каждом данном сечении.

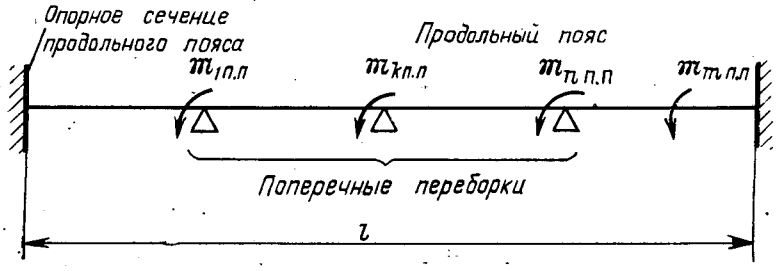


Рис. 5.5

Таких уравнений может быть составлено столько, сколько учитывается перемычек на каждой из палуб (при одинаковом числе перемычек m на каждой из n палуб — mn уравнений).

Суда с тремя и более рядами люков

При трехрядных люках для определения неизвестных сосредоточенных бимоментов могут быть использованы расчетные зависимости, применяемые при учете двухрядных люков. При этом, бла-

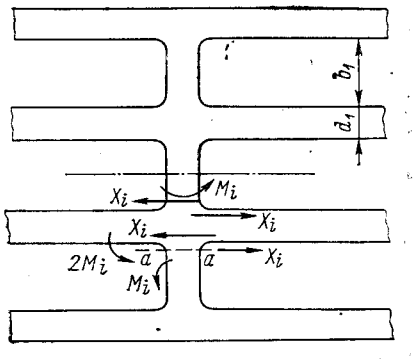


Рис. 5.6

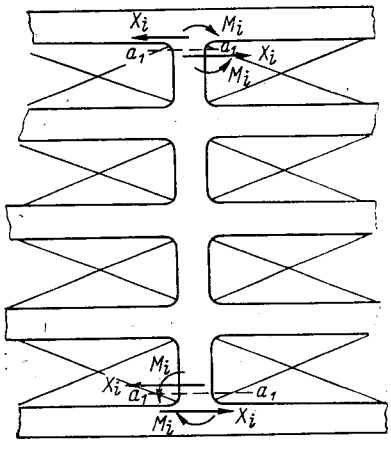


Рис. 5.7

годаря симметрии их расположения по ширине судна, следует рассматривать только одну из половин сечения от ДП. В выражения, раскрывающие статическую неопределимость задачи, вводятся те размерения элементов перемычек, которые отвечают данному случаю.

На рис. 5.6 показано место условного разреза и возникающие пр этом усилия.

Бимомент, воспринимаемый корпусом судна, в месте расположения рассматриваемой поперечной перемычки определяется выражением

$$B_i = 2\left(X_i \widehat{\omega}_{a-a} - M_i y_{\text{пц. к}}\right), \qquad (5.17)$$

где $\widehat{\omega}_a$ — секториальная площадь в месте условного разреза $a-a$; X_i и M_i — искомые силы и моменты, возникающие в месте условного разреза перемычки; $y_{\text{пц. к}}$ — отстояние плоскости действия момента от центра кручения.

При большем числе рядов люков можно рекомендовать взамен предлагаемого разреза перемычек в месте сопряжения их с продольными поясьями делать разрез непосредственно у палубных стрингеров.

Перемычку от борта до борта можно рассматривать в этом случае как многоопорную балку, упругозаделанную на бортах (с коэффициентом опорной пары $\mathfrak{A}$).

Неизвестные реактивные усилия в месте соединения поперечных перемычек и продольных поясьев определяются из условия, что суммарный угол поворота всех сопрягаемых конструкций равен нулю.

Схема условного разреза поперечной перемычки для этого случая представлена на рис. 5.7. Определение коэффициента опорной пары $\mathfrak{A}$ осуществляется аналогично тому, как находится параметр $\bar{\nu}$ в выражении для двухрядных люков.

Примечание. Палубный стрингер и прилегающие к нему связи борта уподобляются балке, лежащей на упругом основании, создаваемом рамным набором, и опертой на ближайшие поперечные переборки.

Методические указания по учету поперечных перемычек

На судне с большим количеством палуб с одинаковым или разным конструктивным оформлением поперечных и продольных поясьев определение пролетных бимоментов производится для каждой палубы раздельно, сообразуясь с реальной конструктивной схемой. Суммарные значения бимоментов, возникающих в данном сечении, в этом случае определяются по формуле

$$\sum_1^n B_i = 2\sum_1^n \left(X_{in}\widehat{\omega}_{in} - M_{in} y_{\text{пц. к}}\right), \qquad (5.18)$$

где n — число рассматриваемых палуб; $\widehat{\omega}_{i,\,n}$ — секторинальная площадь сечения у места разреза i-й перемычки каждой из n палуб; X_{in} и M_{in} — искомые силы и момент, возникающие в месте разреза i-й поперечной перемычки всех n палуб; $y_{\text{пц. к}}$ — отстояние плоскости каждой из n палуб до центра кручения.

Учет всех палуб при определении сосредоточенного бимомента, по крайней мере на начальных стадиях проектирования, может не производиться. При этом условно считается, что значение бимо-

мента, полученное по расчету при одной верхней палубе, может быть увеличено на 15—20%, в зависимости от числа палуб.

При ширине перемычки меньше 0,2 ее длины (понимая под длиной расстояние между палубным стрингером и ближайшим учитываемым в расчете продольным поясом) влиянием этих перемычек при определении бимоментов можно пренебречь.

При четырехрядных и более люках можно полагать, что все продольные межлюковые поясья совмещены в ДП. Момент инерции фиктивного пояса в ДП можно принимать равным сумме моментов инерции каждого из этих поясьев, а ширину его условно равной

$$b_{ср}=\sqrt[3]{\frac{\sum I_{пп}12}{\delta_{ср}}}, \qquad (5.19)$$

где $\sum I_{пп}$ — сумма моментов инерции всех продольных поясьев относительно вертикальной оси; $\delta_{ср}$ — средняя толщина этих поясьев.

6. УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПАЛУБНОМ СТРИНГЕРЕ В МЕСТЕ ЕГО КРЕПЛЕНИЯ К СПЛОШНОМУ НАСТИЛУ ПАЛУБЫ

В сечении, где происходит сопряжение открытых и закрытых частей корпуса, в палубном стрингере возникают дополнительные изгибные напряжения, обусловленные деформацией при скручива-

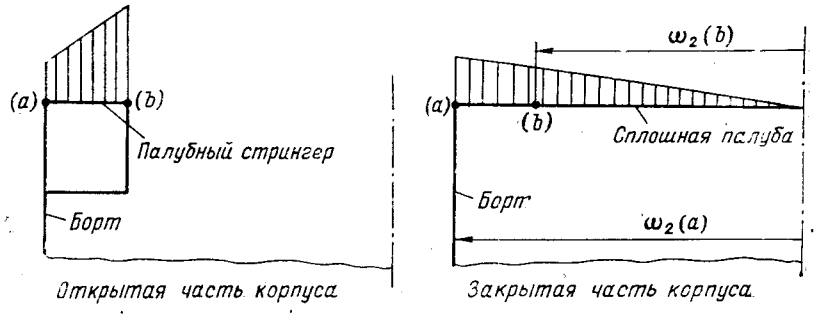


Рис. 6.1

нии сплошного настила палубы. Эти напряжения появляются из-за различного характера депланации при скручивании палубных связей в районе открытой и закрытой частей корпуса (рис. 6.1).

На основании уравнивания деформаций в точках a и b (рис. 6.1) можно написать:

$$\left.\begin{aligned} W_1(a)+W_2(a)&=W_3(a);\\ W_1(b)+W_2(b)&=W_3(b),\end{aligned}\right\} \qquad (6.1)$$

где $W_1(a)$ и $W_1(b)$ — продольные перемещения точек a и b открытого контура при общем кручении корпуса; $W_2(a)$ и $W_2(b)$ —

продольные перемещения точек a и b палубы (закрытой части корпуса) в месте ее сопряжения с палубным стрингером открытой части, $W_3(a)$ и $W_3(b)$ — результирующие (принудительные) деформации точек a и b палубного стрингера из-за его жесткой связи со сплошным настилом палубы (рис. 6.2).

На основании решения уравнений (6.1) суммарные напряжения в точках (a) и (b) палубного стрингера:

$$\left.\begin{aligned}\sigma(a) &= -E\theta_0'\left[\hat{\omega}_1(a)+K_c\hat{\omega}_3(a)\right];\\ \sigma(b) &= -E\theta_0'\left[\hat{\omega}_1(b)+K_c\hat{\omega}_3(b)\right],\end{aligned}\right\} \qquad (6.2)$$

где θ_0' — первая производная от меры депланации или вторая производная от угла закручивания (если поправки на стеснение из-за наличия в сечении замкнутых контуров не делается); $\hat{\omega}_1(a)$ и $\hat{\omega}_1(b)$ — секториальные площади в точках (a) и (b) от общего скручивания корпуса; $\omega_3(a)$ и $\omega_3(b)$ — отстояния точек a и b от нейтральной оси палубного стрингера (рис. 6.2).

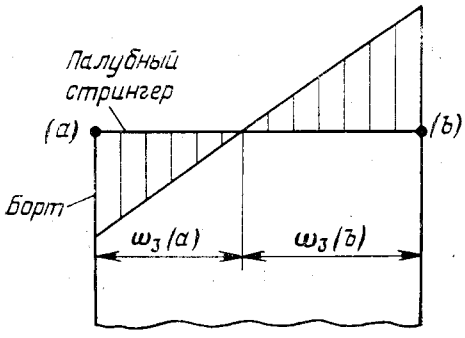


Рис. 6.2

Размерный множитель

$$K_c=\left[\hat{\omega}_1(b)\,\hat{\omega}_2(a)-\hat{\omega}_1(a)\,\hat{\omega}_2(b)\right]/\left[\hat{\omega}_3(a)\,\hat{\omega}_2(b)-\hat{\omega}_3(b)\,\hat{\omega}_2(a)\right],$$

где $\hat{\omega}_2(a)$ и $\hat{\omega}_2(b)$ — отстояния точек (a) и (b) от ДП (рис. 6.1).

Примеры.

1. Исходные данные: $\hat{\omega}_1(b)=23{,}9$ м²; $\hat{\omega}_1(a)=12{,}9$ м²; $\hat{\omega}_3(b)=0{,}81$ м; $\hat{\omega}_3(a)=-0{,}87$ м; $\hat{\omega}_2(a)=6{,}57$ м; $\hat{\omega}_2(b)=8{,}25$ м.

Используя формулу для определения параметра

$$K_c=\frac{\hat{\omega}_1(b)\,\hat{\omega}_2(a)-\hat{\omega}_1(a)\,\hat{\omega}_2(b)}{\hat{\omega}_3(a)\,\hat{\omega}_2(b)-\hat{\omega}_3(b)\,\hat{\omega}_2(a)}$$

и подставляя в нее исходные данные, получим

$$K_c=\frac{23{,}9\cdot 8{,}25-12{,}9\cdot 6{,}57}{-0{,}87\cdot 6{,}57-0{,}81\cdot 8{,}25}=8{,}8\ \text{м};$$

$$\sigma(b)=-E\hat{\omega}_1(b)\,\theta_0'\left[23{,}9+0{,}81\cdot 8{,}8\right]=-31\hat{\omega}_1(b)\,\theta_0'.$$

Таким образом, учет изгиба стрингера приводит к увеличению напряжений в точке b на $(0{,}81\cdot 8{,}8\cdot 100):23{,}9=30\%$.

2. Исходные данные: $\hat{\omega}_1(b) = 96{,}0$ м^2, $\hat{\omega}_1(a) = 62{,}0$ м^2, $\hat{\omega}_3(b) = 1{,}0$ м; $\hat{\omega}_3(a) = 0{,}75$ м; $\omega_2(b) = 9{,}35$ м; $\omega_2(a) = 11{,}1$ м.

Тогда

$$K_c = \frac{96{,}0 \cdot 11{,}1 - 62{,}0 \cdot 9{,}35}{-0{,}75 \cdot 9{,}35 - 1 \cdot 11{,}1} = 27 \text{ м};$$

$$\sigma(b) = -E\theta_0'[96 + 27] - 123E\theta_0'.$$

В данном случае увеличение напряжений в стрингере в точке b будет также около 30%.

7. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА

Проверка общей и местной прочности включает: определение нормальных и касательных напряжений от общего скручивания, напряжений в перемычках, палубном стрингере и диаметральном поясе, углы и величину перекосов люков.

Нормальные напряжения от стесненного кручения

$$\sigma_\omega = \frac{B(x)\,\hat{\omega}_s}{I_{\hat{\omega}}},$$

где $\hat{\omega}_s$ — главная секториальная площадь (координата, отсчитываемая вдоль контура сечения) в рассматриваемой точке сечения; $I_{\hat{\omega}}$ — главный секториальный момент инерции.

Касательные напряжения стесненного кручения

$$\tau(s) = M(x)\,S_{\hat{\omega}}/I_{\hat{\omega}}\delta,$$

где $S_{\hat{\omega}} = \sum_i \hat{\omega}_i \delta_s l_s$ — главный секториальный статический момент; δ — толщина связи, в которой определяются касательные напряжения; $\overline{\overline{M}}(x)$ — крутящий момент второго рода, обусловленный касательными напряжениями стесненного кручения.

Касательные напряжения чистого (Сен-Венанова) кручения

$$\bar{\tau}(s) = \frac{\overline{M}(x)\,I_i}{I_к 2F_i\delta} = \frac{\overline{M}(x)\,q_i t_0}{I_к \delta},$$

где $\overline{M}(x)$ — крутящий момент первого рода, обусловленный касательными напряжениями чистого кручения; F_i — площадь единичного контура, ограниченная средней линией его периметра; $I_к = \sum_1^n 2F_i q_i t_0$ — суммарный момент инерции чистого (Сен-Венанова) кручения n замкнутых контуров сечения; $I_i = q_i 2F_i t_0$ — момент инерции чистого (Сен-Венанова) кручения рассматриваемого замнутого контура; δ — толщина рассматриваемой грани; t_0 —

толщина связи, принятая в качестве эталонной (см. формулы (4.4)). Суммарные касательные напряжения при кручении

$$\tau_i = \overline{\overline{\tau}}_i + \overline{\tau}_i.$$

Нормальные напряжения от изгиба i-й поперечной перемычки

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{B_i b_i d_i}{2\hat{\omega}_{x_i} 2i_i},$$

где $\sigma_{\text{п}}$ — наибольшие нормальные напряжения в сечении i-й перемычки в месте ее соединения с палубным стрингером; B_i — сосредоточенный бимомент i-й перемычки; b_i — полудлина поперечной перемычки (расстояние от палубного стрингера до диаметрального пояса); d_i — ширина i-й поперечной перемычки; i_i — момент инерции i-й поперечной перемычки относительно вертикальной оси; $\hat{\omega}_{x_i}$ — главная секториальная площадь в месте приложения силы, где

$$X_i = \frac{B_i}{2\hat{\omega}_{x_i}}.$$

Касательные напряжения в i-й перемычке

$$\tau_{\text{п}} = \frac{B_i S}{2\hat{\omega}_{x_i} i_i \delta},$$

где S — статический момент площади отсеченной части; δ — толщина стенки перемычки в рассматриваемом сечении.

Напряжения от стесненного кручения в поперечных перемычках y палубного стрингера не должны превышать $\sigma_{\text{доп}} = 0{,}6\sigma_{\text{т}}$ и $\tau_{\text{доп}} = 0{,}4\sigma_{\text{т}}$.

Вычисление угла закручивания производится по формулам, приведенным в разд. 3, в зависимости от принятой эпюры распределения крутящих моментов по длине судна.

Эпюру изменения угла закручивания $\varphi(x)$ следует представлять графически.

Относительный угол закручивания корпуса на длине открытой части

$$\psi = \frac{\varphi_l}{l} 57{,}3^\circ,$$

где φ_l — угол поворота носового и кормового сечений относительно друг друга, рад; l — длина открытой части судна.

Горизонтальное смещение палубы в i-м сечении

$$\Delta_i = \varphi_i(x)\rho_i,$$

где $\varphi_i(x)$ — угол закручивания корпуса в данном сечении; ρ_i — отстояние плоскости рассматриваемой палубы от центра кручения.

Относительное перемещение противоположных кромок люка

$$\Delta_{\text{л}} = \varphi_i(x_2)\rho_i - \varphi_j(x_j)\rho_j,$$

где $\varphi_i(x_2)$ и $\varphi_j(x_1)$ — углы поворота сечений корпуса в местах расположения противолежащих поперечных кромок люка; ρ_i и ρ_j — отстояние рассматриваемых кромок люка, расположенных в i-м и j-м сечениях корпуса соответственно, от центра кручения.

Угол перекоса противоположных поперечных кромок люка (в град)

$$\psi_k = \frac{[\varphi_i(x_i)\rho_i - \varphi_j(x_j)\rho_j]\,57{,}3^\circ}{l_{ij}},$$

где l_{ij} — длина люка (расстояние между поперечными кромками).

Угол перекоса люка не должен превышать величины, обусловливающей необходимость сохранения герметичности люкового закрытия (обычно задается техническим заданием при проектировании судна).

Удлинение диагонали люка

$$\Delta l = \sqrt{[b^2 + \varphi_i(x_i)\rho_i - \varphi_j(x_j)\rho_j]^2 + [l_{ij} + \delta_i - \delta_j]^2} - \sqrt{l_{ij}^2 + b^2}.$$

Здесь b — ширина люка; l_{ij} — длина люка; δ_i и δ_j — относительные продольные перемещения противолежащих по ширине угловых точек люка в сечениях i и j соответственно;

$$\delta_i = \frac{2\hat{\omega}_i\varphi_i'(x_i)}{n}; \quad \delta_j = \frac{2\hat{\omega}_j\varphi_j'(x_j)}{n},$$

$\hat{\omega}_i$ и $\hat{\omega}_j$ — секториальные площади в местах расположения угловых точек люка в сечениях i и j, соответственно; n — число рядов люков; $\varphi_i'(x_i)$ и $\varphi_j'(x_j)$ — погонные углы закручивания корпуса в сечениях i и j.

8. УЧЕТ ПЕРЕМЕННОСТИ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ПО ДЛИНЕ КОРПУСА

Определение параметров стесненного кручения обычно выполняется в предположении постоянства значений секториальных и геометрических характеристик сечений по длине грузовых трюмов. Влияние участков судна со сплошной палубой оценивается введением в расчетную схему некоторых коэффициентов стеснения, затрудняющих или полностью предотвращающих депланацию открытых частей судна в местах, где они соединяются с закрытыми частями корпуса.

Использование ЭВМ не только ускоряет проектирование, но и открывает возможность внесения соответствующих уточнений, не прибегая к упрощениям, диктуемым ограниченными возможностями ручного счета. В частности, вместо расчленения судна на открытую и закрытую части и рассмотрения его как призматической балки по длине грузовых трюмов, можно учитывать

переменность характеристик его поперечных сечений не только в районе грузовых трюмов, но и в оконечностях.

Такой подход осуществляется, в частности, Германским Ллойдом.

В СССР также выполнено в данном направлении исследование и разработаны соответствующие расчетные алгоритмы. Их содержание приводится ниже.

Судно на всем протяжении рассматривается как балка с переменными значениями секториальных и геометрических характеристик (в том числе и в районе оконечностей).

Решение задачи может выполняться исходя из следующих двух предпосылок, используемых независимо друг от друга:

1) учитывать изменение характеристик сечений корпуса так, как это диктуется особенностями проекта; при этом может оказаться, что данные характеристики изменяются непрерывно. Подобный подход приводит к усложнению всех расчетных зависимостей и дифференциального уравнения стесненного кручения, что, в частности, обусловлено появлением в нем дополнительных членов, представляющих собой производные по координате x секториальных характеристик в одноименных точках сечений.

2) принимать кусочно-ступенчатое изменение секториальных и геометрических параметров, а следовательно, и изгибно-крутильной характеристики по длине судна (эта предпосылка положена в основу приводимого ниже решения). При этом основная трудность заключается в определении условий «перехода» кинематических и силовых параметров стесненного кручения в тех местах (сечениях), где наблюдается скачок величины изгибно-крутильной характеристики.

Влияние поперечных перемычек при выводе приведенных ниже зависимостей опущено. Расчетные формулы, позволяющие учитывать на ЭВМ наличие перемычек, будут даны в специальном Бюллетене Регистра СССР.

Уравнение стесненного кручения тонкостенных призматических балок и оболочек, выведенное создателями этой теории профессорами В. З. Власовым и А. А. Уманским, основывается на раздельном рассмотрении двух составляющих внутреннего крутящего момента: $\overline{M}(x)$ и $\overline{\overline{M}}(x)$. Составляющая $\overline{M}(x)$, обусловленная обычным (свободным) кручением на протяжении открытой части судна, как правило, весьма мала. Составляющая $\overline{\overline{M}}(x)$ связана с появлением касательных напряжений от стеснения депланации и имеет на протяжении открытой части судна преобладающее значение.

Таким образом,

$$\overline{M}(x)+\overline{\overline{M}}(x)=M_{\text{кр}}(x). \tag{8.1}$$

На основании стесненного кручения уравнение (8.1) может быть представлено в виде

$$FI^{0}_{\hat{\omega}}\varphi'''(x)-GI_{\text{к}}\varphi'(x)=M_{\text{кр}}(x) \tag{8.2}$$

или

$$\varphi'''(x)-\alpha^2(x)\varphi'(x)=\frac{M_{кр}(x)}{EI^0_{\widehat{\omega}}(x)}. \qquad (8.3)$$

где $\alpha^2=\dfrac{GI_к(x)}{EI^0_{\widehat{\omega}}(x)}$,

$GI_к(x)$ — жесткость свободного кручения поперечного сечения;
$EI^0_{\widehat{\omega}}(x)$ — жесткость стесненного кручения поперечного сечения;
$M_{кр}(x)$ — текущая ордината внешнего крутящего момента.

Будем считать, что значения $I_к(x)$ и $I^0_{\widehat{\omega}}(x)$ на длине рассматриваемого участка судна постоянны. Тогда дифференциальное уравнение (8.2) является уравнением с постоянными коэффициентами и для его решения надо располагать тремя независимыми граничными условиями.

В качестве первого из них следует принять угол поворота $\varphi(0)=0$, поскольку этот кинематиечский параметр определяется между сечениями, расположенными в начале и в конце грузовых трюмов. Двумя другими условиями могут быть, например, значения бимоментов $B(0)$ и $B(l)$, здесь l — длина открытой части судна. Подробнее о вычислении значений бимоментов при полном или неполном стеснении депланации см. разд. 3.

Уравнение (8.1) в технической литературе представляется обычно в виде

$$\varphi^{IV}(x)-\alpha^2\varphi''(x)=f'(x),$$

где $$f'(x)=-\frac{1}{EI^0_{\widehat{\omega}}}\frac{dM_{кр}(x)}{dx}=\frac{m(x)}{EI^0_{\widehat{\omega}}}.$$

Для решения данного дифференциального уравнения надо располагать уже четырьмя граничными условиями.

Покажем, что равенство в каждом сечении составляющих внутренних крутящих моментов — внешнему позволяет ограничиться прежними тремя граничными условиями.

Обратимся к уравнению (8.3). Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$\varphi(x)=C_1\operatorname{ch}\alpha x+C_2\operatorname{sh}\alpha x+C_4;$$
$$\varphi'(x)=C_1\alpha\operatorname{sh}\alpha x+C_2\alpha\operatorname{ch}\alpha x;$$
$$\varphi''(x)=C_1\alpha^2\operatorname{ch}\alpha x+C_2\alpha^2\operatorname{sh}\alpha x;$$
$$\varphi'''(x)=C_1\alpha^3\operatorname{sh}\alpha x+C_2\alpha^3\operatorname{ch}\alpha x.$$

Здесь и в дальнейшем начало координат принимается в одном из крайних сечений судна (кормовом сечении).

При $x=0$

$$\varphi(0)=C_1+C_4 \text{ или } C_1=-C_4;$$
$$\varphi'(0)=C_2\alpha;\quad \varphi''(0)=C_1\alpha^2;\quad \varphi'''(0)=C_2\alpha^3. \qquad (8.4)$$

Отсюда $C_1=\dfrac{\varphi''(0)}{\alpha^2}$, $C_2=\dfrac{\varphi'''(0)}{\alpha^3}$, $C_4=\varphi(0)-\dfrac{\varphi''(0)}{\alpha^2}$.

Так как $\varphi(0)=0$ (первое граничное условие), то $C_4=-\frac{\varphi''(0)}{\alpha^2}$.

Подставляя значения C_2 из зависимости (8.4), имеем $\varphi'(0)=-\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^2}$, или $-GI_к\varphi'=EI^0_\omega\varphi'''(0)$, откуда следует, что $\overline{M}(0)+\overline{\overline{M}}(0)=0$, т. е. соблюдаются условия равновесия. Таким образом, с учетом частного решения $\varphi_{ч.р}$ получим:

$$\varphi(x)=\frac{\varphi''(0)}{\alpha^2}(\operatorname{ch}\alpha x-1)+\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^3}\operatorname{sh}\alpha x+\varphi_{ч.р}.$$

Для раскрытия статической неопределенности задачи необходимо располагать значениями $\varphi''(0)$ и $\varphi'''(0)$. Первое из них, функционально связано с $B(0)$ и задается как граничное условие на левом конце. Второе граничное условие может быть выражено через $\varphi''(L)$, т. е. функцию бимомента на правом конце балки.

Обратимся теперь к дифференциальному уравнению стесненного кручения в его написании, отвечающем выражению

$$EI^0_\omega\varphi^{IV}-GI_к\varphi''=m(x) \tag{8.5}$$

или $\varphi^{IV}-\alpha^2\varphi''=m(x)/EI^0_\omega$.

Общий интеграл однородного уравнения (8.5) имеет вид

$$\varphi(x)=C_1\operatorname{ch}\alpha x+C_2\operatorname{sh}\alpha x+C_3x+C_4;$$
$$\varphi'(x)=C_1\alpha\operatorname{sh}\alpha x+C_2\alpha\operatorname{ch}\alpha x+C_3;$$
$$\varphi''(x)=C_1\alpha^2\operatorname{ch}\alpha x+C_2\alpha^2\operatorname{sh}\alpha x;$$
$$\varphi'''(x)=C_1\alpha^3\operatorname{sh}\alpha x+C_2\alpha^3\operatorname{ch}\alpha x.$$

При $x=0$

$$\left.\begin{aligned}&\varphi(0)=C_1+C_4;\quad \varphi'(0)=C_2\alpha+C_3;\\&C_3=\varphi(0)-\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^2};\quad C_4=\varphi(0)-\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^3}.\end{aligned}\right\} \tag{8.6}$$

По сравнению с решением (8.2) имеем дополнительное неизвестное C_3.

Из решения зависимостей (8.6):

$$C_1=\frac{\varphi''(0)}{\alpha^2};\quad C_2=\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^3};\quad C_3=\varphi'(0)-\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^2};$$
$$C_4=\varphi(0)-\frac{\varphi''(0)}{\alpha^2}.$$

Сопоставляя зависимости (8.4) и (8.6) видим, что коэффициенты C_1, C_2 и C_4 выражаются через начальные параметры иден-

тично. При решении дифференциального уравнения четвертого порядка, как уже отмечалось, появляется новая постоянная

$$C_3=\varphi'(0)-\frac{\varphi'''(0)}{\alpha^2}=\frac{M_{кр}(0)}{GI_к}.$$

Значение C_3 зависит от величины ординаты внешнего крутящего момента в сечении, совпадающем с началом координат. Отсюда становится ясным: в какой бы форме ни записывались дифференциальные уравнения стесненного кручения, в форме (8.3) или (8.5), это не приводит к необходимости изменять граничные условия.

Из теории стесненного кручения замкнутых профилей известно, что бимомент $B(x)$ выражается через первую производную от меры депланации $\theta(x)$:

$$B(x)=-EI_{\widehat{\omega}}\theta'(x),$$

где

$$\theta'(x)=\frac{I_p}{I_p-I_к}\varphi''(x)+\frac{m(x)}{GI_p}\frac{I_p}{I_p-I_к};$$

Здесь I_p — полярный момент инерции сечения; $m(x)$ — погонная крутящая нагрузка $[dM(x)]/dx$.

Обозначая $\frac{I_p}{I_p-I_к}=\rho$, получим $B(x)=-EI_{\widehat{\omega}}\rho\left[\varphi''(x)+\frac{m(x)}{GI_p}\right]$.

Множитель $I_{\widehat{\omega}}\rho$ принято обозначать $I^0_{\widehat{\omega}}$. Тогда

$$B(x)=-EI^0_{\widehat{\omega}}\left[\varphi''(x)+\frac{m(x)}{GI_p}\right]. \qquad (8.7)$$

Из выражения (8.7) следует

$$-\frac{B(x)}{EI^0_{\widehat{\omega}}}-\frac{m(x)}{GI_p}=\varphi''(x),$$

а отсюда, так как $B(0)=0$ и $B(L)=0$,

$$-\frac{m(0)}{GI_p}=\varphi''(0);\quad \frac{m(L)}{GI_p}=\varphi''(L).$$

Вывод расчетных зависимостей

Обратимся теперь к выводу зависимостей, определяющих условия перехода соответствующих параметров кручения в рассматриваемых сечениях судна. Депланация всех точек, расположенных на контурной линии сечения, принадлежащей отсеку слева (—) и справа (+) от нее подчиняется зависимости

$$W(x, s)=-\theta(x)\widehat{\omega}(x, s). \qquad (8.8)$$

Для сохранения непрерывности перемещений при изменении параметров сечения, обусловливающих появление нормальных

напряжений, функция $\theta(x)$ (мера депланации) должна обязательно претерпевать разрыв, что может быть выражено формулой

$$\theta(x)_- = \frac{\theta(x)_+}{K}, \tag{8.9}$$

где K — интегральный коэффициент совмещения.

Условия общего внутреннего равновесия по напряжениям в рассматриваемом сечении позволяют написать равенство

$$\int_F (\sigma W\, dF)_+ = \int_F (\sigma W\, dF)_-.$$

Здесь σ — нормальные напряжения при стесненном кручении.

Используя выражения (8.8) и (8.9), получим

$$\int_F (\sigma\hat{\omega}\, dF)_+ = \int_F (\sigma\hat{\omega}\, dF)_-,$$

т. е.

$$B(x)_+ = \frac{B(x)_-}{K}.$$

Коэффициент K может быть найден из условия, что дополнительные напряжения $\Delta\sigma$, возникающие вдоль контурной линии совмещенного сечения, производят нулевую работу. Имея в виду, что погонная потенциальная энергия стержня, растягиваемого или сжимаемого продольными усилиями, пропорциональна квадрату напряжений, и исходя из сказанного выше относительно работы дополнительных напряжений $\Delta\sigma$, имеем

$$\int_F (\sigma^2\, dF)_- = \int (\sigma^2\, dF)_+. \tag{8.10}$$

Вспоминая, что $\sigma_+ = \frac{B(x)_+\hat{\omega}_+}{I_{\hat{\omega}_+}}$, $\sigma_- = \frac{B(x)_-\hat{\omega}_-}{I_{\hat{\omega}_-}}$,

и подставляя эти значения в (8.10), получим

$$K = \sqrt{\frac{I_{\hat{\omega}_-}}{I_{\hat{s}_+}}}.$$

Таким образом, имеем следующие зависимости перехода:

$$\left.\begin{aligned} &\varphi_+ = \varphi_-; \qquad \theta_+ = K\theta_-; \\ &B_{\omega_+} = \frac{1}{K} B_{\omega_-}; \quad K = \sqrt{\frac{I_{\hat{\omega}_-}}{I_{\hat{\omega}_+}}}. \end{aligned}\right\} \tag{8.11}$$

Из теории стесненного кручения известно, что мера депланации

$$\theta = \varphi' + \frac{EI^0_{\hat{\omega}}}{G(I_p - I_к)}\varphi''',$$

или

$$EI^0_{\hat{\omega}}\varphi''' + G(I_p - I_к)\varphi' = G(I_p - I_к)\theta. \tag{8.12}$$

С другой стороны, основное дифференциальное уравнение кручения имеет вид:

$$EI^0_{\omega}\varphi''' - GI_к\varphi' = M_{кр}. \tag{8.12а}$$

Преобразуя уравнения (8.12) и (8.12а), получим

$$G(I_p - I_к)\varphi' + GI_к\varphi' = G(I_p - I_к)\theta - M_{кр}, \tag{8.13}$$

$$\theta = \frac{GI_p\varphi' + M_{кр}}{G(I_p - I_к)}.$$

Равенство (8.13) используем для раскрытия зависимости $\theta_+ = K\theta_-$ [см. выражение (8.13)]. Оно позволяет найти взаимную зависимость между φ'_- и φ'_+

$$K\frac{M_{кр} + GI_{p_-}\varphi'_-}{G(I_{p-} - I_{к-})} = \frac{M_{кр} + GI_{p_+}\varphi'_+}{G(I_{p+} - I_{к+})}.$$

Обозначая $\frac{I_{p+} - I_{к+}}{I_{p-} - I_{к-}} = \gamma$, имеем

$$K\gamma(M_{кр} + GI_{к_-}\varphi'_-) = M_{кр} + GI_{к_+}\varphi'_+;$$

$$\varphi'_+ = \frac{1}{GI_{p_+}}[M_{кр}(K\gamma - 1) + K\gamma GI_{p_-}\varphi'_-];$$

$$\varphi'_+ = K\gamma\frac{I_{p_-}}{I_{p_+}}\varphi'_- + \frac{M_{кр}(K\gamma - 1)}{GI_{p+}}.$$

Обозначив

$$\frac{K\gamma I_{p-}}{I_{p_+}} = A_1; \quad \frac{M_{кр}(K\gamma - 1)}{GI_{p_+}} = B_1, \tag{8.14}$$

имеем $\varphi'_+ = A_1\varphi'_- + B_1$.

Обратимся теперь к зависимости $B_{\omega_+} = \frac{1}{K}B_{\omega_-}$.

Бимомент B_ω, как известно, определяется по формуле

$$B_\omega = -EI^0_{\hat{\omega}}\theta',$$

тогда

$$\left.\begin{aligned} EI^0_{\hat{\omega}}\theta'_+ &= \frac{1}{K}EI^0_{\hat{\omega}}\theta'_-; \\ \theta' &= \frac{GI_p\varphi'' + m}{G(I_p - I_к)} \end{aligned}\right\} \tag{8.15}$$

или

$$\theta' = \frac{I_p\varphi''}{I_p - I_к} + \frac{m}{G(I_p - I_к)}.$$

Обозначив $\frac{I_p}{I_p - I_к} = \rho$, получим

$$\theta' = \rho\varphi'' + \frac{m}{GI_p}\rho = \rho\left(\varphi'' + \frac{m}{GI_p}\right).$$

Обращаясь к уравнению (8.15), имеем

$$I^0_{\hat{\omega}_+}\left(\varphi''_+ + \frac{m_+}{GI_{p_+}}\right) = \frac{1}{K} I^0_{\hat{\omega}_-}\left(\varphi''_- + \frac{m_-}{GI_{p_-}}\right);$$

$$\varphi''_+ = \frac{I^0_{\hat{\omega}_-}}{I^0_{\hat{\omega}_+}} \frac{1}{K}\left(\varphi''_- - \frac{m_-}{GI_{p_-}}\right) - \frac{m_+}{GI_{p_+}}.$$

Поскольку множитель $\frac{I^0_{\hat{\omega}_-}}{I^0_{\hat{\omega}_+}} \frac{1}{K} \approx K$, получим

$$\varphi''_+ = K\varphi''_- + \frac{Km_-}{GI_{p_-}} - \frac{m_+}{GI_{p_+}}.$$

Обозначив $K = A_2$, $\frac{Km_-}{GI_{p_-}} - \frac{m_+}{GI_{p_+}} = B_2$,

имеем
$$\varphi''_+ = A_2\varphi''_- + B_2. \tag{8.16}$$

Следовательно, параметры «перехода» представляются:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_+ &= \varphi_-; \\ \varphi'_+ &= A_1\varphi'_- + B_1; \\ \varphi''_+ &= A_2\varphi''_- + B_2, \end{aligned}\right\} \tag{8.17}$$

где
$$A_1 = \frac{K\gamma I_{p_-}}{I_{p_+}}; \quad B_1 = \frac{M_{кр}(K\gamma - 1)}{GI_{p_+}};$$

$$K = \sqrt{\frac{I_{\hat{\omega}_-}}{I_{\hat{\omega}_+}}}; \quad \gamma = \frac{I_{p_+} - I_{к_+}}{I_{p_-} - I_{к_-}};$$

$$A_2 = K, \; B_2 = K\frac{m_-}{GI_{p_-}} - \frac{m_+}{GI_{p_+}}.$$

Если сечение корпуса является односвязным контуром, $\theta = \varphi'$ и зависимости (8.17) упрощаются:

$$\varphi_+ = \varphi_-, \; \varphi'_+ = K\varphi'_-, \; \varphi''_+ = K\varphi''_-.$$

Алгоритм решения задачи при использовании приведенных условий «перехода» параметров кручения в местах сопряжения участков с разными значениями изгибно-крутильной характеристики может быть представлен следующим образом.

Дифференциальное уравнение (8.2) со ступенчато переменными значениями секториальных и геометрических характеристик решается методом начальных параметров подобно тому, как это делалось при постоянных значениях изгибно-крутильной характеристики по длине открытой части судна. Решение приводится в матричной форме.

Дифференциальное уравнение (8.3) представляется в виде

$$y'' - \alpha^2 y = f(x), \tag{8.18}$$

где

$$f(x) = \frac{M(x)}{EI^0_{\text{ω}}}; \quad y(x) = \varphi'(x).$$

Полагая, что на длине участка ординаты крутящего момента изменяются линейно, можно записать

$$f(x) = C + \overline{m}x, \tag{8.19}$$

где $C = \dfrac{M(x=0)}{EI^0_{\text{ω}}}$;

$M(x=0)$ — ордината крутящего момента на левом конце рассматриваемого участка;

$$\overline{m} = \frac{1}{EI^0_{\text{ω}}} \cdot \frac{dM(x)}{dx}.$$

Общее решение уравнения (8.18) при его правой части, определяемой зависимостью (8.19),

$$y = A \operatorname{sh} \alpha x + B \operatorname{ch} \alpha x - \frac{C + \overline{m}x}{\alpha^2}.$$

Принимая начальное условие на левом конце участка $y(x=0) = y_0$; $y'(x=0) = y'_0$, можно определить произвольные постоянные A и B. В результате получаем:

$$A = \frac{y'_0 + \dfrac{\overline{m}}{\alpha^2}}{\alpha}; \quad B = y_0 + \frac{C}{\alpha^2}.$$

Тогда для правого конца участка при $x = l$:

$$\left.\begin{aligned} y_l &= y_0 \operatorname{ch} u + y'_0 \frac{\operatorname{sh} u}{\alpha} + \frac{\overline{m}}{\alpha^3} \operatorname{sh} u + \frac{C}{\alpha^2} \operatorname{ch} u - \frac{C}{\alpha^2} - \frac{\overline{m}l}{\alpha^2}; \\ y'_l &= y_0 \alpha \operatorname{sh} u + y'_0 \operatorname{ch} u + \frac{\overline{m}}{\alpha^2} \operatorname{ch} u + \frac{C}{\alpha} \operatorname{sh} u - \frac{\overline{m}}{\alpha^2}. \end{aligned}\right\} \tag{8.20}$$

Итак, зависимость (8.20) связывает значения производных φ' и φ'' на левом и правом концах участка. Для j-го участка ее можно записать

$$\{Z_{\text{п}}\} = [K_j]\{Z_{\text{л}}\} + \{q_j\}. \tag{8.21}$$

Введенные здесь индексы «л» и «п» соответствуют левому и правому концам участка, индекс j указывает номер участка.

Представим векторы $\{Z_л\}_j$ и $\{Z_п\}_j$ как сумму трех двумерных векторов:

$$\{Z_л\}_j=\varphi_0'\{S_л'\}_j+\varphi_0''\{S_л^2\}_j+\{S_л^3\}_j; \tag{8.22}$$

$$\{Z_п\}_j=\varphi_0'\{S_п'\}_j+\varphi_0''\{S_п^2\}_j+\{S_п^3\}_j, \tag{8.23}$$

где

$$\{S_л^i\}=\begin{vmatrix} S_{л1}^i \\ S_{л2}^i \end{vmatrix}, \quad (i=1,\ 2,\ 3);$$

$$\{S_п^i\}=\begin{vmatrix} S_{п1}^i \\ S_{п2}^i \end{vmatrix}, \quad (i=1,\ 2,\ 3),$$

φ_0', φ_0'' — значения производных в начале первого участка.

Найдем связь между векторами $\{S_л^i\}$ и $\{S_п^i\}$ $(i=1, 2, 3)$.

Подставляя (8.22) в (8.21) и учитывая (8.23), получаем:

$$\left.\begin{aligned} \{S_п'\}_j&=[K_j]\{S_л'\}_j; \\ \{S_п^2\}_j&=[K_j]\{S_л^2\}_j; \\ \{S_п^3\}_j&=[K_j]\{S_л^3\}+\{q_j\}. \end{aligned}\right\} \tag{8.24}$$

Формулы (8.24) устанавливают зависимость между векторами $\{S_л'\}$ и $\{S_п^i\}$ $(i=1, 2, 3)$, соответствующими левому и правому концам j-го участка.

При переходе через правую границу участка значения производных φ' и φ'' изменяются согласно (8.14) и (8.16). Установим зависимости между векторами $\{S_п^i\}_j$ $(i=1, 2, 3)$ и $\{S_л^i\}_{j+1}$ $(i=1, 2, 3)$, соответствующими правому концу j-го участка и левому концу $(j+1)$-го участка. Из (8.22) имеем:

$$\varphi_л'=\varphi_0'\cdot S_{л1}'+\varphi_0''S_{л1}^2+S_{л1}^3;$$
$$\varphi_л''=\varphi_0'S_{л2}'+\varphi_0''S_{л2}^2+S_{л2}^3.$$

Учитывая (8.17) и (8.22), получим

$$\left.\begin{aligned} \{S_л'\}_{j+1}&=\begin{vmatrix} A_1S_{п1}' \\ A_2S_{п2} \end{vmatrix}_j; \\ \{S_л^2\}_{j+1}&=\begin{vmatrix} A_1S_{п1}^2 \\ A_2S_{п2}^2 \end{vmatrix}_j; \\ \{S_л^3\}_{j+1}&=\begin{vmatrix} A_1S_{п1}^2+B_1 \\ A_2S_{п2}^3+B_2 \end{vmatrix}_j. \end{aligned}\right\} \tag{8.25}$$

Найдем начальные значения векторов $\{S^i_л\}_1$ $(i=1, 2, 3)$, соответствующие левому концу первого участка. Поскольку здесь

$$\{Z_л\}_1=\begin{vmatrix}\varphi_0'\\ \varphi_0''\end{vmatrix}$$

то, учитывая разложение (8.22), получим

$$\{S'_л\}_1=\begin{vmatrix}1\\0\end{vmatrix};\quad \{S^2_л\}=\begin{vmatrix}0\\1\end{vmatrix};\quad \{S^3_л\}=\begin{vmatrix}0\\0\end{vmatrix}. \tag{8.26}$$

Зависимости (8.24), (8.25) и (8.26) позволяют найти последовательно значения векторов $\{S^i_л\}_j$, $\{S^i_п\}_j$ $(i=1, 2, 3)$ для всех участков. Определив $\{S^2_п\}_n$ $(i=1, 2, 3)$ для последнего n-го участка можно составить уравнение $\varphi_0'S'_{п2}+\varphi_0''S^2_{п2}+S^3_{п2}=\varphi_n''$.

Отсюда можно найти величину φ_0':

$$\varphi_0'=\frac{\varphi_n''-\varphi_0''S^2_{п2}-S^3_{п2}}{S'_{п2}}.$$

Далее по формулам (8.22) и (8.23) находим векторы $\{Z_п\}$, $\{Z_п\}_j$ для $j=1, \ldots, n$.

Значения угла закручивания φ на каждом участке могут быть получены из зависимости $\varphi(x)=\varphi(x=0)+\int\limits_0^{l_j} y(x)\,dx$, где l_j — длина j-го участка; $x=0$ — начало j-го участка.

Подставляя сюда выражение (8.18), получим

$$\varphi(x)=\varphi(0)+\frac{A(\operatorname{ch}\alpha x-1)}{\alpha}+\frac{B\operatorname{sh}\alpha x}{\alpha}-\frac{Cx}{\alpha^2}-\frac{\overline{m}x^2}{2\alpha^2}.$$

Пример использования выведенных зависимостей см. в приложении 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойцов Г. В. Замечания к вопросу о рациональном проектировании продольных комингсов люков.— «Судостроение», 1967, № 4.
2. Бойцов Г. В., Кноринг С. Д. Прочность и работоспособность корпусных конструкций. Л., «Судостроение», 1972.
3. Бойцов Г. В., Палий О. М. Комплексный подход к проблемам обеспечения прочности судов.— «Проблемы прочности судов». Л., «Судостроение», 1975.
4. Власов В. З. Тонкостенные пространственные системы. М., Госстройиздат, 1958.
5. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни. М., Физматгиз, 1959.
6. Галахов И. Н. Расчет на кручение судов открытого типа с многосвязным контуром. Труды ЛИВТа, 1959, вып. 96.
7. Давыдов В. В. Прочность корпуса судна при скручивании. М., «Речной транспорт», 1955.
8. Кандель Ф. Г., Галахов И. Н. и др. Прочность судов смешанного плавания. Л., «Судостроение», 1974.

9. Лепп Ю. Ф. Влияние относительной ширины раскрытия палуб и межлюковых перемычек на величину напряжений и деформаций корпуса морского судна при скручивании. Труды НТО Судпрома, 1966, вып. 74.
10. Ловягин М. А. и др. Металлические плавучие доки. Л., «Судостроение», 1964.
11. Пановко Я. Г., Кан С. Н. Элементы строительной механики тонкостенных конструкций. М., Оборонгиз, 1952.
12. Сегаль А. И. Прикладная теория упругости. Л., Судпромгиз, 1961.
13. Сиверцев И. Н. Расчет и проектирование судовых конструкций. М., «Транспорт», 1968.
14. Сидоров В. А. К вопросу прочности корпуса открытого судна при общем скручивании. Труды НТО Судпрома, 1967, вып. 99.
15. Соколова А. С. Упругие тонкостенные стержни с искажаемым контуром. Труды ЛИВТа, 1963, вып. 50.
16. Таубин Г. О., Волкова Е. Б. Об определении силовых и деформационных параметров стесненного кручения с большим раскрытием палуб. Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, вып. 264. Л., «Судостроение», 1971.
17. Таубин Г. О., Вагенгейм С. Г. К вопросу ускорения процедуры расчета прочности судов с широкими люками.— «Вопросы судостроения», сер. 1 «Проектирование судов», вып. 2(4). Л., «Судостроение», 1973.
18. Таубин Г. О. Анализ прочности судов с широким раскрытием палуб.— «Проблемы прочности судов», Л., «Судостроение», 1975.
19. Таубин Г. О., Гребенюк Я. П. Приближенные зависимости для определения параметров стесненного кручения судов с широким раскрытием палуб. Научно-техн. сб. Регистра СССР, вып. 5, Л., «Транспорт», 1976.
20. Таубин Г. О. Определение силовых и кинематических параметров стесненного кручения с учетом переменности по длине секториальных и геометрических характеристик поперечных сечений. Научно-техн. сб. «Вопросы судостроения», сер. «Проектирование судов», вып. 9, ЦНИИ «Румб», 1976.
21. Таубин Г. О., Вагенгейм С. Г. Некоторые особенности вычисления бимоментов при кручении судов с широким раскрытием палуб.— «Судостроение», 1977, № 7.
22. Уманский А. А. Кручение и изгиб тонкостенных авиаконструкций. М., Оборонгиз, 1931.
23. Уманский А. А. Строительная механика самолета. М., Оборонгиз, 1961.
24. Шиманский Ю. А. Справочник по строительной механике корабля. Л., Судпромгиз, 1958.
25. Abrahamsen E. Recent Developments in the Practical Philosophy of Ship Structural Design. Det Norske Veritas, Oslo. 1967, July publication N 60.
26. Grim O. und Schenzle P. Berechung der Torsionsbelastung eines Schiffes im Seegang. Der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit. "Institut für Schiffbau der Universität Hamburg". Bericht N 235 und 237. Hamburg, 1969.
27. Containers and containerships.— "Shipbuilding and Shipping Record". A special Supplement "Containerisation", 1970, February.
28. Haslum K., Tonnessen H. An Analysis of Torsion in Ship Hulls.— "European Shipbuilding". 1972, vol. XXI, N 5, 6.
29. Haslum K., Nordestrom and others. Torsional Response of Ship in the Seaway with Particular Reference to LNG Tanker.— "Norwegian Maritime Research", vol. 1, 1973, N 3.
30. Meek M., Adams R. The Structural Design of the OCL Container Ships.— "The Naval Architects". 1972, N 2, April.
31. Nakagawa M. On the Strength of Container Ships.— "Mitsubishi Technical Bulletin". 1969, N 57, May.
32. Numata E. Longitudinal Bending and Torsional Moments Acting on a Ship Model at Oblique Headings to Waves.— "Journal of Ship Research". 1960, June, 1963, April.
33. Röhl D. Beitrag zur Berechnung und Konstruktion von Schiffen mit grossen Decksöffnungen.— "Schiff und Hafen". 1969, Heft 4, 6, 7.
34. Roren E. M. Torsion of Hulls Having Wide Hatches, Experiment and Theory.— "European Shipbuilder". 1967, N 2.

35. Taylor K. V. Torsional Loads on Ships: The Present Available Knowledge. Report of Committee 3 "Sea Loads — Full — Scale". 4th International Ship Structures Congress. Tokyo, 1970.
36. Schultz H. G. Notes on the Structural Analysis of Container Ships.— "Journal of the Society of Naval Architects of Japan", vol. 132, 1972, December.
37. Schultz H. G. Die Festigkeit Probleme in Grosschiffbau.— "Schiff und Hafen", 1969, N 1.
38. Schultz H. G. Strength Aspects of Present Day Ship Design.— "Schiff und Hafen". 1973, N 1.
39. Shimizu S., Ushirokawa O. A. Study on the Torsional Strength of Large Container Ships — the Effect of Double Hull Structure on Torsional Strength.— "Japan Shipbuilding and Marine Engineering", 1972, vol. 6, N 6.
40. Vedeler G. On the Torsion of Ships. TINA, 1924, p. 164—187.
41. Webster W. C. A Preliminary to the Investigation of the Torsion Loading in a Ship. SNAME. 1960, April.
42. Wilde G. Structural Problems in Ships with Large Hatch Openings.— "International Shipbuilding Progress". 1967, vol. 14, January, N 149 and 150, February.
43. Woisin G. Über die Grosse Torsionmoment im Seegang.— "Hansa", Bd. 100S—75, Sonderheft, 1963, April.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕСНЕННОГО КРУЧЕНИЯ

Помещенные в разд. 3 расчетные зависимости выведены на основании общетеоретических соображений. Так как конечные результаты не всегда очевидны, то здесь помещены подробные выкладки, на основании которых получены выведенные зависимости.

Первый случай. МО расположено в кормовой оконечности

Общее выражение для $\overline{M}(l)$ имеет вид

$$\overline{M}(l) = \overline{M}(0) - B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l + \overline{\overline{M}}(0)(1 - \mathrm{ch}\,\alpha l) - \frac{2M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha l - \alpha l] + \frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha(l-a_1) - \alpha(l-a_1)] - \sum_{k=1}^{k=n} B_k \alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(l-v_k). \quad (1)$$

Обозначим часть этого выражения, не содержащего неизвестных, через A. Тогда

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha l - \alpha l] + \frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha(l-a_1) - \alpha(l-a_1)] - \sum_{k=1}^{k=n} B_k \alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(l-v_k) = A. \quad (2)$$

Примечание. Значения B_k определяются из деформационных условий (см. разд. 5), и поэтому условно считаем их известными.

Из выражения (2) следует:

$$B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l = -\overline{M}(l) + \overline{M}(0) + \overline{\overline{M}}(0)(1 - \mathrm{ch}\,\alpha l) + A;$$

так как $\overline{\overline{M}}(0) + \overline{M}(0) = M_{\text{кр}}(0) = \frac{2M_{\max}a}{L}$, то

$$B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l = -\overline{M}(l) + \frac{2M_{\max}a}{L} - \overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + A, \quad (3)$$

По условию

$$\overline{B}(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l = -\overline{M}(l) + \frac{2M_{\max}a}{L}(1-\mathrm{ch}\,\alpha l) + A, \tag{4}$$

$$C(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l = \frac{2M_{\max}a}{L}(1-\mathrm{ch}\,\alpha l) + A. \tag{5}$$

Вычитая (5) из (4), имеем:

$$[\overline{B}(0) - C(0)]\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l = -\overline{M}(l),$$

$$\overline{B}(0) = C(0) - \frac{\overline{M}(l)}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}. \tag{6}$$

В свою очередь, вычитая (6) из (3), получим

$$B(0) = C(0) - \frac{-\overline{M}(l) - \overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + \frac{2M_{\max}}{L}\mathrm{ch}\,\alpha l}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}.$$

Принимая во внимание первое условие стеснения

$$\varkappa_{\text{к}}\overline{B}(0) = B(0) \text{ получим } \varkappa_{\text{к}}\left[C(0) - \frac{\overline{M}(l)}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}\right] =$$

$$= C(0) + \frac{-\overline{M}(l) - \overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + \frac{2M_{\max}a}{L}\mathrm{ch}\,\alpha l}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}$$

и после преобразований

$$C(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l\,(1-\varkappa_{\text{к}}) + \frac{2M_{\max}}{L}\mathrm{ch}\,\alpha l = \overline{M}(l)(1-\varkappa_{\text{к}}) + \overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l. \tag{7}$$

Таким образом, первое уравнение, связывающее пока неизвестные параметры $\overline{M}(l)$ и $\overline{\overline{M}}(l)$, получено.

Обратимся теперь ко второму условию стеснения

$$B(l) = B(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + \frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\mathrm{sh}\,\alpha l + \frac{2M_{\max}}{\alpha^2 L}(\mathrm{ch}\,\alpha l - 1) -$$

$$- \frac{4M_{\max}}{\alpha^2 L}[\mathrm{ch}\,\alpha(l-a_1) - \alpha(l-a_1)] + \sum_{k=1}^{k=n} B_k\,\mathrm{ch}\,\alpha(l-v_k), \tag{8}$$

по аналогии обозначим

$$\frac{2M_{\max}}{\alpha^2 L}(\mathrm{ch}\,\alpha l - 1) - \frac{4M_{\max}}{\alpha^2 L}[\mathrm{ch}\,\alpha(l-a_1) - 1] +$$

$$+ \sum_{k=1}^{k=n} B_k\,\mathrm{ch}\,\alpha(l-v_k) = B.$$

Тогда

$$B(l) = B(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + \frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\mathrm{sh}\,\alpha l + B. \tag{9}$$

Подставляя вместо $B(0)$ его развернутое значение, получим

$$B(l) = \left[C(0) + \frac{-\overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l + \frac{2M_{\max}a}{L}\mathrm{ch}\,\alpha l - \overline{M}(l)}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}\right]\mathrm{ch}\,\alpha l +$$

$$+ \frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\mathrm{sh}\,\alpha l + B; \tag{10}$$

$$\overline{B}(l)=\left[C(0)+\frac{-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}\operatorname{ch}\alpha l}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}\right]\operatorname{ch}\alpha l+$$

$$+\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\operatorname{sh}\alpha l+B, \tag{11}$$

$$C(l)=C(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{\alpha L}\operatorname{sh}\alpha l+B. \tag{12}$$

Вычитая (12) из (11), после преобразования получим

$$\overline{B}(l)=C(l)+\frac{2M_{\max}a}{\alpha L\operatorname{sh}\alpha l}-\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}. \tag{13}$$

Вычитая (12) из (10), получим

$$B(l)=C(l)-\frac{\overline{M}(l)\operatorname{ch}\alpha l}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}-\frac{\overline{M}(0)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}+\frac{2M_{\max}a}{\alpha L\operatorname{sh}\alpha l}; \tag{14}$$

по второму условию $\varkappa_{н}\overline{B}(l)=B(l)$:

$$\varkappa_{н}\left[C(l)+\frac{2M_{\max}a}{\alpha L\operatorname{sh}\alpha l}-\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}\right]=$$

$$=C(l)-\frac{\overline{M}(l)\operatorname{ch}\alpha l}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}-\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha l}+\frac{2M_{\max}a}{\alpha L\operatorname{sh}\alpha l}. \tag{15}$$

После преобразований имеем

$$(1-\varkappa_{н})C(l)\alpha\operatorname{sh}\alpha l+(1-\varkappa_{н})\frac{2M_{\max}a}{L}=$$

$$=\overline{\overline{M}}(0)(1-\varkappa_{н})+\overline{M}(l)\operatorname{ch}\alpha l, \tag{16}$$

т. е. получено второе уравнение для определения неизвестных.

Уравнения (7) и (16) позволяют найти значения $\overline{M}(l)$ и $\overline{\overline{M}}(0)$ если известны числовые значения коэффициентов стеснения депланации $\varkappa_{к}$ и $\varkappa_{н}$.

Таким образом,

$$\left.\begin{aligned}C(0)(1-\varkappa_{к})\alpha\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}\operatorname{ch}\alpha l&=\overline{M}(l)(1-\varkappa_{к})+\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha l;\\ C(l)(1-\varkappa_{н})\alpha\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}(1-\varkappa_{н})&=\\ =\overline{M}(l)\operatorname{ch}\alpha l+(1-\varkappa_{н})\overline{M}(0).&\end{aligned}\right\} \tag{17}$$

Решая эти два уравнения совместно, получим

$$\overline{\overline{M}}(0)=\left\{\alpha\operatorname{sh}\alpha l(1-\varkappa_{к})[C(0)\operatorname{ch}\alpha l-C(l)(1-\varkappa_{н})]+\right.$$

$$\left.+\frac{2M_{\max}a}{L}[\operatorname{ch}^{2}\alpha l-(1-\varkappa_{к})(1-\varkappa_{н})]\right\}\Big/\operatorname{ch}^{2}\alpha l-(1-\varkappa_{к})(1-\varkappa_{н}) \tag{18}$$

при $\varkappa_{к}=1{,}0$ $\qquad \overline{\overline{M}}(0)=\frac{2M_{\max}a}{L}$, (19)

$$\overline{M}(l)=\frac{\alpha\operatorname{sh}\alpha l(1-\varkappa_{н})C(l)}{\operatorname{ch}\alpha l},$$

$$\varphi'(x)=\frac{\overline{M}(x)}{GI_{к}}.$$

Второй случай. МО расположено между грузовыми трюмами

При выводе расчетных зависимостей здесь возникает дополнительная неопределенность. На основании упрощенных расчетов установить, в какой степени устраняется депланация сечений открытых частей судна в месте их сопряжения с концевыми поперечными переборками МО, нельзя. В данном случае следует решать задачу на основании интегрального уравнивания деформаций сопрягаемых сечений, о чем говорится в разд. 2 настоящей Методики.

В связи с этим в рамках поставленной задачи делаются упрощающие допущения.

Одним из таких допущений, приводящих к ужесточению жесткости корпуса, а следовательно, к завышению расчетных значений бимоментов, делается предположение, что в упомянутых сечениях осуществляется полное стеснение депланации, т. е. $\overline{M}(b')$ и $\overline{M}(b'')=0$ (рис. 1). В концевых сечениях, ограничивающих район грузовых трюмов, учтена возможность любой степени депланации введением понятия коэффициентов стеснения $\varkappa_к$ и $\varkappa_н$.

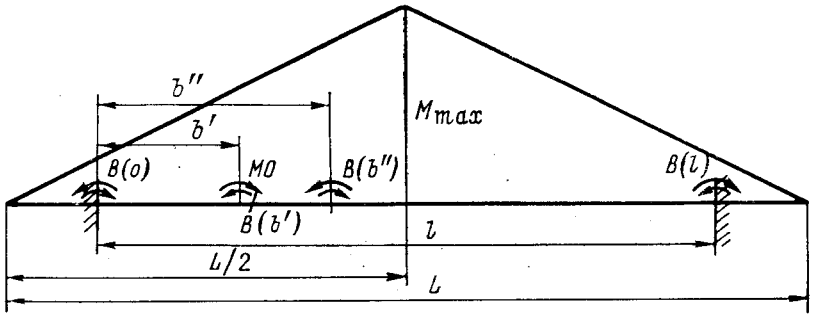


Рис. 1

Обычно при расположении МО между грузовыми трюмами жилые и прочие помещения на судах открытого типа переносятся в носовую надстройку, благодаря чему протяженность закрытого участка палубы здесь достаточно велика.

Поэтому при выполнении практических расчетов можно принимать $\varkappa_н=1{,}0$. Протяженность по длине закрытого палубой кормового участка, наоборот, значительно меньше, чем при кормовом расположении МО, вследствие чего здесь рекомендуется принимать в расчет $\varkappa_н=0{,}5 \ldots 0{,}6$.

Схема действия усилий показана на рис. 1.

Значения бимоментов определяются следующим образом.

Общее выражение для определения текущих значений ординат $\overline{M}(x)$ имеет вид

$$\overline{M}(x)=\overline{M}(0)-B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha x+\overline{\overline{M}}(0)(1-\mathrm{ch}\,\alpha x)-$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\mathrm{sh}\,\alpha x-\alpha x)+\Big\|_{x>a_1}\frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha(x-a_1)-\alpha(x-a_1)]-$$

$$-\Big\|_{x>b'}B(b')\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(x-b')-\Big\|_{x>b''}B(b'')\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(x-b''). \qquad (20)$$

При $x=b'$ получим

$$\overline{M}(b')=\overline{M}(0)-B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha b'+\overline{\overline{M}}(0)(1-\mathrm{ch}\,\alpha b')-$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\mathrm{sh}\,\alpha b'-\alpha b'), \qquad (21)$$

отсюда

$$B(0)=\frac{1}{\alpha \operatorname{sh}\alpha b'}\left\{-\overline{M}(b')+\frac{2M_{\max}a}{L}-\right.$$

$$\left.-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b'-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b'-\alpha b')\right\}; \tag{22}$$

$$\overline{B}(0)=\frac{1}{\alpha \operatorname{sh}\alpha b'}\left\{-\overline{M}(b')+\frac{2M_{\max}a}{L}-\frac{2M_{\max}a}{L}\operatorname{ch}\alpha b'-\right.$$

$$\left.-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b'-\alpha b')\right\}. \tag{23}$$

Из условия $\varkappa_к\overline{B}(0)=B(0)$

$$\overline{M}(b')(1-\varkappa_к)+\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b'=\frac{2M_{\max}a}{L}[1-\varkappa_к+\varkappa_к\operatorname{ch}\alpha b']-$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b'-\alpha b')(1-\varkappa_к). \tag{24}$$

При полном стеснении депланации в сечении $x=b'$, $\overline{M}(b')=0$. Тогда

$$\overline{\overline{M}}(0)=\frac{1}{\operatorname{ch}\alpha b'}2M_{\max}\left\{\frac{a}{L}(1-\varkappa_к+\varkappa_к\operatorname{ch}\alpha l)-\frac{1}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b'-\alpha b')(1-\varkappa_к)\right\}. \tag{25}$$

Таким образом, величина $B(0)$ после подстановки в (22) выражения (25) определена при $x=b''$

$$\overline{M}(b'')=-B(0)\alpha\operatorname{sh}\alpha b''+\frac{2M_{\max}}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b''-$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b''-\alpha b'')-B(b')\alpha\operatorname{sh}\alpha(b''-b').$$

Принимая $\overline{M}(b'')=0$, имеем

$$B(b')=\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(b''-b')}\left\{-B(0)\alpha\operatorname{sh}\alpha b''+\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha b''-\right.$$

$$\left.-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha b''-\alpha b'')\right.$$

Из выражения для $\overline{M}(l)$ получим

$$B(b'')=\frac{1}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}\left\{-B(0)\alpha\operatorname{sh}\alpha l+\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\operatorname{ch}\alpha l-\right.$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\operatorname{sh}\alpha l-\alpha l)+\frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\operatorname{sh}\alpha(l-a_1)-\alpha(l-a_1)]-$$

$$\left.-B(b')\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b')\right\}-\frac{\overline{M}(l)}{\alpha\operatorname{sh}\alpha(l-b'')}.$$

Если $\overline{M}(l)\neq 0$, значение $\overline{M}(l)$ определяется из условия $\varkappa_н\overline{B}(l)=B(l)$. При этом

$$B(L)=B(0)\operatorname{ch}\alpha l+\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\operatorname{sh}\alpha l-$$

$$-\frac{2M_{\max}}{\alpha^2L}(1-\operatorname{ch}\alpha l)+\frac{4M_{\max}}{\alpha^2L}[1-\operatorname{ch}\alpha(l-a_1)]+$$

$$+B(b')\operatorname{ch}\alpha(l-b')+B(b')\operatorname{ch}\alpha(l-b''). \tag{26}$$

Выражение для $\overline{B}(l)$ будет отличаться от выражения $B(l)$ отсутствием члена

$$\frac{\overline{M}(l)\,\mathrm{ch}\,\alpha(l-b'')}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(l-b'')}.$$

Используя зависимость (26), получим

$$\overline{M}(l)=\frac{(1-\varkappa_{\text{н}})\,\overline{B}(l)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l}{\mathrm{ch}\,\alpha l},$$

где

$$\overline{B}(l)=B(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l+\frac{\overline{\overline{M}}(0)}{\alpha}\,\mathrm{sh}\,\alpha l+\frac{2M_{\max}}{\alpha^2 l}(\mathrm{ch}\,\alpha l-1)-$$

$$-\frac{4M_{\max}}{\alpha^2 L}[\mathrm{ch}\,\alpha(l-a_1)-1]+B(b')\,\mathrm{ch}\,\alpha(l-b')+$$

$$+\left\{-B(0)\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha l-\frac{2M_{\max}a}{L}-\overline{\overline{M}}(0)\,\mathrm{ch}\,\alpha l-\frac{2M_{\max}}{\alpha L}(\mathrm{sh}\,\alpha l-\alpha l)+\right.$$

$$\left.+\frac{4M_{\max}}{\alpha L}[\mathrm{sh}\,\alpha(l-a_1)-\alpha(l-a_1)]-B(b')\,\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(l-b')\right\}\frac{\mathrm{ch}\,\alpha(l-b'')}{\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha(l-b'')}.$$

Эпюра бимоментов для общего случая показана на рис. 2.

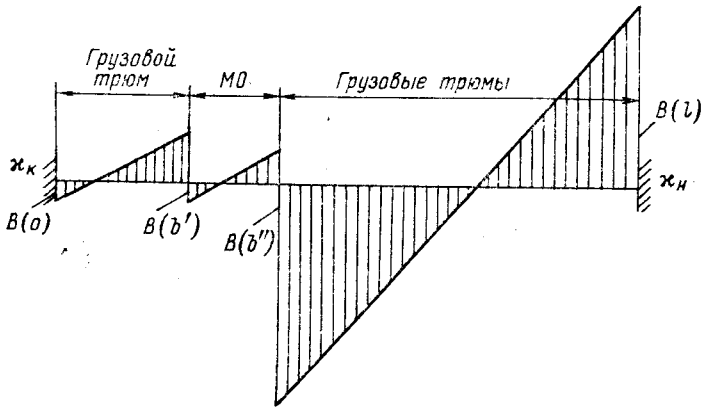


Рис. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕКТОРИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЯ, ПРИВЕДЕННЫХ В РАЗД. 4

1. Определение секториальных и геометрических характеристик поперечного сечения судна с подпалубной цистерной

Вычисление секториальных и геометрических характеристик выполняется применительно к миделевому конструктивному сечению (рис. 1).

Главные размерения судна: $L=144{,}6$; $B=22{,}2$ м; $D=13{,}4$ м.

Схематизированное миделевое сечение показано на рис. 2; приведенные площади ребер, расположенных по наружной обшивке днища и внутреннему дну, включены в толщины соответствующих листов обшивки. Нумерация замкнутых контуров (цифры в кружках) и параметров циркуляции q_i видна из рис. 2. Определение приведенных длин граней контуров см. в табл. 1.

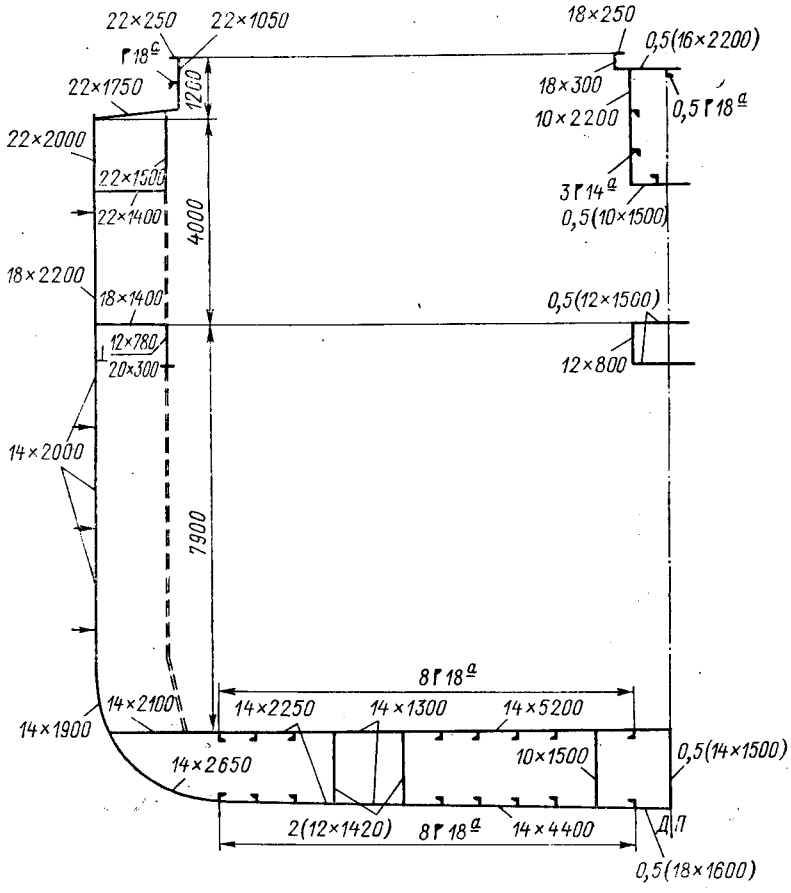


Рис. 1

Таблица 1

Грань	*АБ*	*БЗ*	*ЗИ*	*АИ*	*БВ*	*ВЦ*	*ЗЦ*	*ВГ*
Длина грани l, м	1,45	1,5	1,45	1,5	3,75	1,5	3,75	1,3
Толщина грани t, мм	14,8	10,0	14,8	7,0	14,8	12,0	14,8	14,8
$l'_i = l_i \frac{t_0}{t_i}$ м	1,45	2,22	1,45	3,17	3,75	1,85	3,75	1,3

Продолжение табл. 1

Грань	*ЖГ*	*ЖЦ*	*ГД*	*ДЕ*	*ЖЕ*	*НС*	*НП*	*ПР*	*РС*
Длина грани l, м	1,5	1,3	4,6	1,5	4,6	1,4	1,47	1,4	1,47
Толщина грани t, мм	12,0	14,8	14,8	14,0	14,8	22,0	22,0	22,0	22,0
$l'_i = l_i \frac{t_0}{t_i}$ м	1,85	1,3	4,6	1,59	4,6	0,94	0,99	0,94	0,99

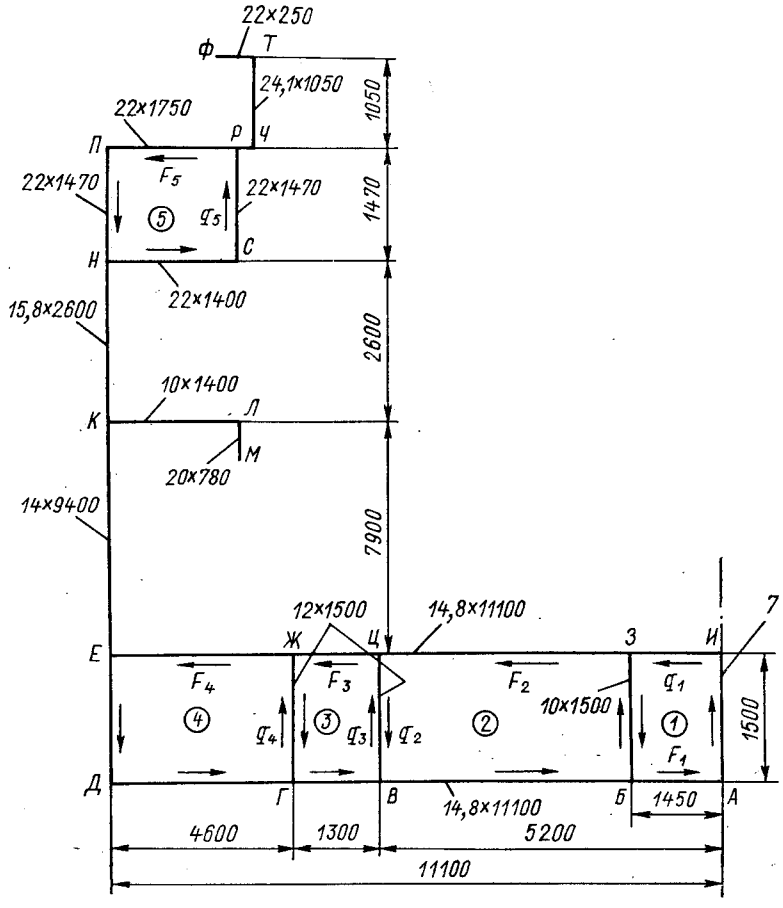


Рис. 2

Уравнения циркуляции имеют вид:

$$\left.\begin{aligned}
&q_1\left(l'_{АБ}+l'_{БЗ}+l'_{ЗН}\right)-q_2 l'_{БЗ}=2F_1;\\
&q_2\left(l'_{ББ}+l'_{ВЦ}+l'_{ЗЦ}+l'_{БЗ}\right)-q_3 l'_{ВЦ}-q_1 l'_{БЗ}=2F_2;\\
&q_3\left(l^1_{ВГ}+l'_{ЖГ}+l'_{ЖЦ}+l'_{ВЦ}\right)-q_4 l'_{ЖГ}-q_2 l'_{ВЦ}=2F_3;\\
&q_4\left(l'_{ГД}+l'_{ДЕ}+l'_{ЖЕ}+l'_{ЖГ}\right)-q_3 l'_{ЖГ}=2F_4;\\
&q_5\left(l'_{СН}+l'_{НП}+l'_{ПР}+l'_{РС}\right)=2F_5.
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$F_1 = 1{,}5 \cdot 1{,}45 = 2{,}175$ м², $2F_1 = 4{,}35$ м²;
$F_2 = 1{,}5 \cdot 3{,}75 = 5{,}625$ м², $2F_2 = 11{,}25$ м²;
$F_3 = 1{,}5 \cdot 1{,}30 = 1{,}95$ м², $2F_3 = 3{,}9$ м²;
$F_4 = 1{,}5 \cdot 4{,}60 = 6{,}9$ м², $2F_4 = 13{,}8$ м²;
$F_5 = 1{,}4 \cdot 1{,}47 = 2{,}06$ м², $2F_5 = 4{,}12$ м².
$t_0 = 14{,}8$ мм — толщина обшивки днища.

Подставим полученные значения F_i и l'_i в выражение (1):

$$\left.\begin{aligned}
5{,}12q_1 - 2{,}22q_2 &= 4{,}35;\\
-2{,}22q_1 + 11{,}57q_2 - 1{,}85q_3 &= 11{,}25;\\
-1{,}85q_2 + 6{,}3q_3 - 1{,}85q_4 &= 3{,}9;\\
-1{,}85q_3 + 12{,}64q_4 &= 13{,}8;\\
3{,}86q_5 &= 4{,}12.
\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Решив систему (2), получим $q_1 = 1{,}495$ м; $q_2 = 1{,}489$ м; $q_3 = 1{,}439$ м; $q_4 = 1{,}302$ м; $q_5 = 1{,}067$ м.

Определение начальных секториальных площадей

$$\overset{0}{\omega}_{Б} = -q_1 l^1_{АБ} = -1{,}495 \cdot 1{,}45 = -2{,}17 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{В} = \overset{0}{\omega}_{Б} - q_2 l'_{ББ} = -2{,}17 - 1{,}489 \cdot 3{,}75 = -7{,}75 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Г} = \overset{0}{\omega}_{В} - q_3 l'_{ВГ} = -7{,}75 - 1{,}439 \cdot 1{,}3 = -9{,}62 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Д} = \overset{0}{\omega}_{Г} - q_4 l'_{ГД} = -9{,}62 - 1{,}302 \cdot 4{,}6 = -15{,}61 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Е} = \overset{0}{\omega}_{Д} - q_4 l'_{ДЕ} + l_{ДЕ}\frac{B}{2} = -15{,}61 - 1{,}302 \cdot 1{,}59 + 1{,}5 \cdot 11{,}1 = -1{,}03 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{К} = \overset{0}{\omega}_{Е} + l_{ЕК}\frac{B}{2} = -1{,}03 + 7{,}9 \cdot 11{,}1 = +86{,}66 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Л} = \overset{0}{\omega}_{К} + l_{КЛ} \cdot 9{,}4 = 86{,}66 + 1{,}4 \cdot 9{,}4 = +99{,}82 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{М} = \overset{0}{\omega}_{Л} - l_{ЛМ} \cdot 9{,}7 = 99{,}82 - 0{,}78 \cdot 9{,}7 = 92{,}25 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Н} = \overset{0}{\omega}_{К} + l_{КН}\frac{B}{2} = 92{,}25 + 2{,}6 \cdot 11{,}1 = 121{,}1 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{П} = \overset{0}{\omega}_{Н} + l_{НП}\frac{B}{2} - q_5 l'_{НП} = 121{,}1 + 1{,}47 \cdot 11{,}1 -$$
$$- 1{,}067 \cdot 0{,}99 = + 136{,}4 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Р} = \overset{0}{\omega}_{П} + l_{ПР} \cdot 13{,}47 - q_5 l'_{ПР} = 136{,}4 + 1{,}4 \cdot 13{,}47 -$$
$$- 1{,}067 \cdot 0{,}94 = + 154{,}2 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ч} = \overset{0}{\omega}_{Р} + l_{РЧ} \cdot 13{,}47 = 154{,}2 + 0{,}35 \cdot 13{,}47 = + 158{,}9 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Т} = \overset{0}{\omega}_{Ч} + l_{ЧТ} \cdot 9{,}35 = 158{,}9 + 1{,}05 \cdot 9{,}35 = + 168{,}8 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ф} = \overset{0}{\omega}_{Т} - l_{ТФ} \cdot 14{,}52 = 168{,}8 - 0{,}25 \cdot 14{,}52 = + 165{,}1 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{С} = \overset{0}{\omega}_{Н} + l_{НС} \cdot 12 + q_5 l'_{НС} = 121{,}1 + 1{,}4 \cdot 12 +$$
$$+ 1{,}067 \cdot 0{,}94 = + 138{,}9 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Р} = \overset{0}{\omega}_{С} + l_{РС} \cdot 9{,}7 + q_5 l'_{РС} = 138{,}9 + 1{,}47 \cdot 9{,}7 +$$
$$+ 1{,}067 \cdot 0{,}99 = + 154{,}2 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ж} = \overset{0}{\omega}_{Е} + l_{ЖЕ} \cdot 1{,}5 - q_4 l'_{ЖЕ} = - 1{,}03 + 4{,}6 \cdot 1{,}5 -$$
$$- 1{,}302 \cdot 4{,}6 = - 0{,}12 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ц} = \overset{0}{\omega}_{Ж} + l_{ЖЦ} \cdot 1{,}5 - q_3 l'_{ЖЦ} = - 0{,}12 + 1{,}3 \cdot 1{,}5 -$$
$$- 1{,}439 \cdot 1{,}3 = - 0{,}04 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{З} = \overset{0}{\omega}_{Ц} + l_{ЗЦ} \cdot 1{,}5 - q_2 l'_{ЗЦ} = - 0{,}04 + 3{,}75 -$$
$$- 1{,}489 \cdot 3{,}75 = 0{,}001 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{И} = \overset{0}{\omega}_{З} + l_{ЗИ} \cdot 1{,}5 - q_1 \cdot l'_{ЗИ} = 0{,}001 + 1{,}45 \cdot 1{,}5 -$$
$$- 1{,}495 \cdot 1{,}45 = 0{,}01 \text{ м}^2.$$

Эпюры начальных секториальных площадей и отстояний граней от ДП (координата x_i) представлены соответственно на рис. 3 и 4.

Вычисление линейно-секториального статического момента $S\overset{0}{\omega}_y = \sum \overset{0}{\omega}_i x_i F_i$ и момента инерции относительно оси y приведено в табл. 2. Там же приведено вычисление момента инерции сечения относительно ДП — I_y и положение центра кручения относительно основной линии $y_{\text{п. к}} = -\frac{S\overset{0}{\omega}_y}{I_y} =$

$$= -\frac{354{,}1}{52{,}75 + 3{,}38} = - 6{,}31 \text{ м}.$$

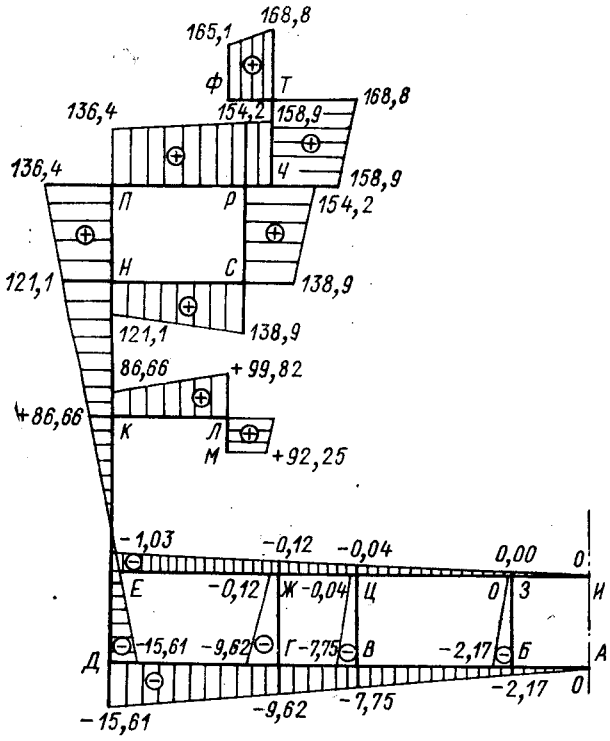

165,1
168,8
Ф
Т
136,4
154,2
158,9
168,8
Ч
158,9
136,4
П
Р
154,2
Н
С
121,1
138,9
121,1
138,9
86,66
+ 99,82
+86,66
К
Л
М
+92,25
-1,03
-0,12
-0,04
0,00
О
Е
-0,12
Ж
-0,04
Ц
О
З
И
Д
-15,61
-9,62
Г
-7,75
В
-2,17
Б
А
-15,61
-9,62
-7,75
-2,17
О

Рис. 3

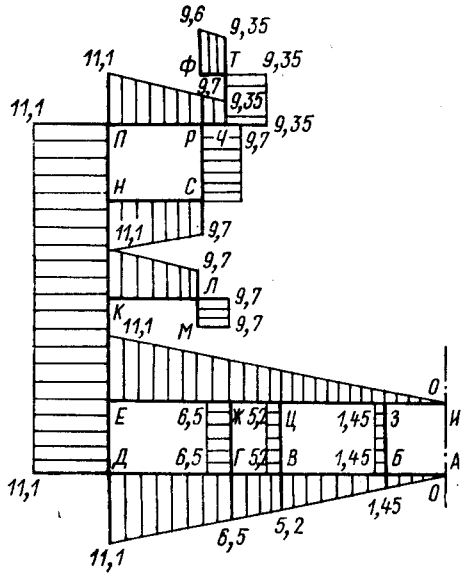

9,6
9,35
11,1
Ф
Т
9,35
9,7
9,35
11,1
9,35
П
Р
Ч
9,7
Н
С
11,1
9,7
9,7
Л
9,7
К
11,1
М
9,7
О
Е
6,5
Ж
5,2
Ц
1,45
З
И
Д
6,5
Г
5,2
В
1,45
Б
А
11,1
1,45
О
6,5
5,2
11,1

Рис. 4

Грань	Длина грани l_i, м	Площадь грани F_i, м²	Эпюры	
			$\mathring{\omega}_i$ м²	x_i м
1	2	3	4	5
АБ	1,45	0,0215	-2,17 Б — 0 А	1,45 Б — 0 А
БВ	3,75	0,0555	-7,75 В — -2,17 Б	5,2 В — 1,45 Б
ВГ	1,3	0,0192	-9,62 Г — -7,75 В	6,5 Г — 5,2 В
ГД	4,6	0,0681	-15,61 Д — -9,62 Г	11,1 Д — 6,5 Г
ДЕ	1,5	0,0210	-1,03 Е — -15,61 Д	11,1 Е — 11,1 Д
ЖЕ	4,6	0,0681	-1,03 Е — -0,12 Ж	11,1 Е — 6,5 Ж
ЖЦ	1,3	0,0192	-0,12 Ж — -0,04 Ц	6,5 Ж — 5,2 Ц
ЗЦ	3,75	0,0555	-0,04 Ц — 0 З	5,2 Ц — 1,45 З
ЗИ	1,45	0,0215	0 З — 0 И	1,45 З — 0 И
ЖГ	1,5	0,0180	-9,62 Г — -0,12 Ж	6,5 Ж — 6,5 Г
ВЦ	1,5	0,0180	-7,75 В — -0,04 Ц	5,2 В — 5,2 Ц
БЗ	1,5	0,0150	-2,17 Б — 0 З	1,45 Б — 1,45 З
ЕК	7,9	0,1106	86,66 К — -1,03 Е	11,1 К — 11,1 Е
КЛ	1,4	0,0140	86,66 К — 99,82 Л	11,1 К — 9,7 Л
ЛМ	0,78	0,0156	99,82 Л — 92,25 М	9,7 Л — 9,7 М
НП	1,47	0,0323	121,1 Н — 136,4 П	11,1 Н — 11,1 П
ПР	1,4	0,0323	136,4 П — 154,2 Р	11,1 П — 9,7 Р
НС	1,4	0,0308	121,1 Н — 138,9 С	11,1 Н — 9,7 С
РС	1,47	0,0323	138,9 С — 154,2 Р	9,7 Р — 9,7 С
РЧ	0,35	0,0077	154,2 Р — 158,9 Ч	9,7 Р — 9,35 Ч
ЧТ	1,05	0,0253	158,9 Ч — 168,8 Т	9,35 Ч — 9,35 Т
ТФ	0,25	0,0055	168,8 Т — 165,1 Ф	9,6 Ф — 9,35 Т
КН	2,6	0,0411	86,66 К — 121,1 Н	11,1 К — 11,1 Н
Σ				

Таблица 2

$\int_l \omega_i x_i dl$		t_i м	(7)×(8)	x_i м	Момент инерции	
Формула	Результат, $м^4$				$F_i x_i^2$ $м^4$	$i_{соб}$ $м^4$
6	7	8	9	10	11	12
$\frac{1}{3}\omega_Б^0 x_Б l_{АБ}$	−1,52	0,0148	−0,0225	5,55	5,061	1,687
$\frac{l_{ББ}}{6}[\omega_Б^0(x_В+2x_Б)+\omega_В^0(x_Б+2x_В)]$	−68,38	0,0148	−1,0121			
$\frac{l}{6}[\omega_В^0(x_Г+2x_В)+\omega_Г^0(x_В+2x_Г)]$	−66,31	0,0148	−0,9814			
$\frac{l}{6}[\omega_Г^0(x_Д+2x_Г)+\omega_Д^0(x_Г+2x_Д)]$	−521,2	0,0148	−7,7140			
$\frac{l}{2}x_Е(\omega_Е^0+\omega_Д^0)$	−138,5	0,0140	−1,9394	11,1	2,587	
$\frac{l}{6}[\omega_Е^0(x_Ж+2x_Е)+\omega_Ж^0(x_Е+2x_Ж)]$	−24,88	0,0148	−0,3682	5,55	5,061	1,687
$\frac{l}{6}[\omega_Ж^0(x_Ц+2x_Ж)+\omega_Ц^0(x_Ж+2x_Ц)]$	−0,62	0,0148	−0,0092			
$\frac{l}{6}\omega_Ц^0(2x_Ц+x_З)$	−0,30	0,0148	−0,0044			
—	—	0,0148	—			
$\frac{l}{2}x_Г(\omega_Г^0+\omega_Ж^0)$	−47,48	0,0120	−0,5698	6,5	0,7605	—
$\frac{l}{2}x_Ц(\omega_Ц^0+\omega_В^0)$	−30,38	0,0120	−0,3646	5,2	0,4867	—
$\frac{l}{2}x_Б\omega_Б^0$	−2,36	0,0100	−0,0236	1,45	0,0315	—
$\frac{l}{2}x_Е(\omega_К^0+\omega_Е^0)$	3754	0,0140	52,562	11,1	13,627	—
$\frac{l}{6}[\omega_К^0(x_Л+2x_К)+\omega_Л^0(x_К+2x_Л)]$	1355,4	0,0100	13,554	10,4	1,514	0,0023
$\frac{l}{2}x_Л(\omega_Л^0+\omega_М^0)$	726,6	0,0200	14,532	9,7	1,468	—
$\frac{l}{2}x_Н(\omega_Н^0+\omega_П^0)$	2101	0,0220	46,218	11,1	3,980	—
$\frac{l}{6}[\omega_П^0(x_Р+2x_П)+\omega_Р^0(x_П+2x_Р)]$	2113	0,0220	46,478	10,4	3,331	0,0050
$\frac{l}{6}[\omega_Н^0(x_С+2x_Н)+\omega_С^0(x_Н+2x_С)]$	1890	0,0220	41,578	10,4	3,331	0,0050
$\frac{l}{2}x_Р(\omega_Р^0+\omega_С^0)$	2090	0,0220	45,972	9,7	3,039	—
$\frac{l}{6}[\omega_Р^0(x_Ч+2x_Р)+\omega_Ч^0(x_Р+2x_Ч)]$	521,8	0,0220	11,481	9,525	0,6986	—
$\frac{l}{2}x_Ч(\omega_Ч^0+\omega_Т^0)$	1609	0,0241	38,767	9,35	2,212	—
$\frac{l}{6}[\omega_Ф^0(x_Т+2x_Ф)+\omega_Т^0(x_Ф+2x_Т)]$	391,1	0,0220	8,604	9,475	0,4938	—
$\frac{l}{6}x_К(\omega_К^0+\omega_Н^0)$	2998	0,0158	47,368	11,1	5,064	—
			354,1		52,75	3,38

Построение эпюры главных секториальных площадей (рис. 5)

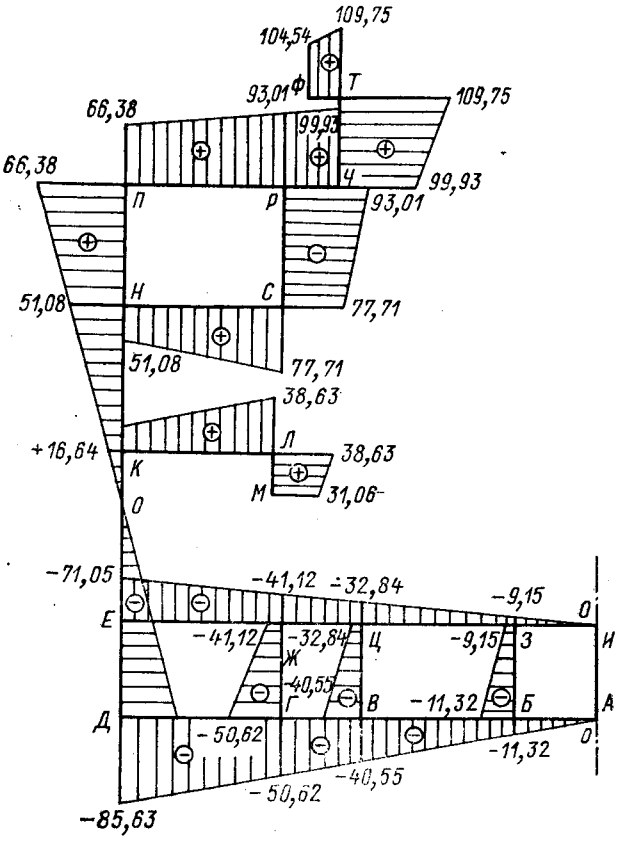


Рис. 5

$$\hat{\omega}_i = \overset{0}{\omega}_i + y_{\text{п. к}} x_i = \overset{0}{\omega}_i - 6{,}31 x_i.$$

$\hat{\omega}_Б = -2{,}17 - 6{,}31 \cdot 1{,}45 = -11{,}32$ м²;

$\hat{\omega}_В = -7{,}75 - 6{,}31 \cdot 5{,}2 = -40{,}55$ м²;

$\hat{\omega}_Г = -9{,}62 - 6{,}31 \cdot 6{,}5 = -50{,}62$ м²;

$\hat{\omega}_Д = -15{,}61 - 6{,}31 \cdot 11{,}1 = -85{,}63$ м²;

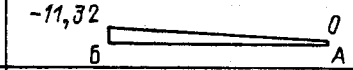
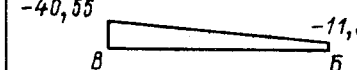
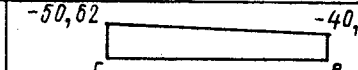
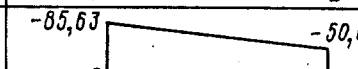
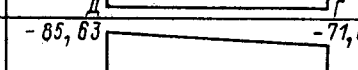
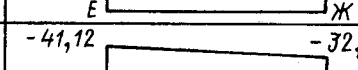
$\hat{\omega}_Е = -1{,}03 - 6{,}31 \cdot 11{,}1 = -71{,}05$ м²;

$\hat{\omega}_К = -71{,}05 + 11{,}1 \cdot 7{,}9 = +16{,}64$ м²;

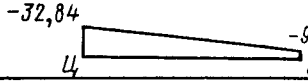
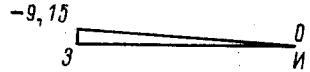
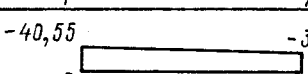
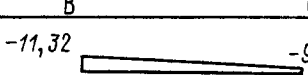
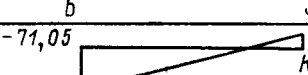
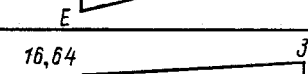
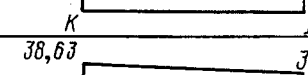
$\hat{\omega}_Л = 16{,}64 + 15{,}71 \cdot 1{,}4 = 38{,}63$ м²;

$\hat{\omega}_М = 38{,}63 - 9{,}7 \cdot 0{,}78 = 31{,}06$ м²;

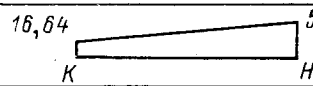
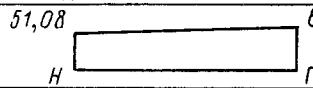
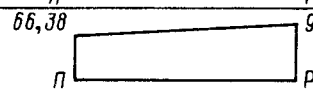
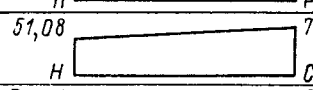
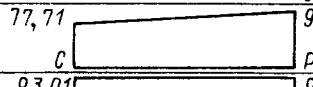
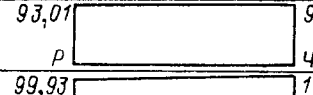
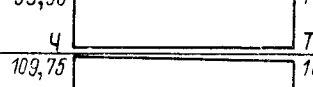
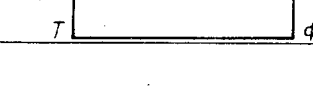
Таблица 3

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i$, м²	Формула	l_i м	t_i м	$\frac{(3)\times(5)}{3}$, м⁶
1	2	3	4	5	6
АБ		$\frac{l_{АБ}}{3}\hat{\omega}_б^2$	1,45	0,0148	0,917
БВ		$\frac{l_{БВ}}{3}(\hat{\omega}_в^2+\hat{\omega}_в\hat{\omega}_б+\hat{\omega}_б^2)$	3,75	0,0148	41,282
ВГ		$l_{вг}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_в^2+\hat{\omega}_в\hat{\omega}_г+\hat{\omega}_г^2)$	3,3	0,0148	40,143
ГД		$l_{гд}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_г^2+\hat{\omega}_г\hat{\omega}_д+\hat{\omega}_д^2)$	4,6	0,0148	322,91
ДЕ		$l_{де}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_д^2+\hat{\omega}_д\hat{\omega}+\hat{\omega}_е^2)$	1,5	0,0140	129,25
ЖЕ		$l_{же}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_ж^2+\hat{\omega}_ж\hat{\omega}_е+\hat{\omega}_е^2)$	4,6	0,0148	219,23
ЖЦ		$l_{жц}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_ж^2+\hat{\omega}_ж\hat{\omega}_ц+\hat{\omega}_ц^2)$	1,3	0,0148	26,421

Продолжение табл. 3

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i$, м²	Формула	l_i, м	t_i, м	$\frac{(3)\times(5)}{3}$, м⁶
1	2	3	4	5	6
ЗЦ		$l_{зц}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_з^2+\hat{\omega}_з\hat{\omega}_ц+\hat{\omega}_ц^2)$	3,75	0,0148	27,060
ЗИ		$l_{зи}\frac{1}{3}\hat{\omega}_з^2$	1,45	0,0148	0,599
ГЖ		$l_{гж}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_г^2+\hat{\omega}_г\hat{\omega}_ж+\hat{\omega}_ж^2)$	1,5	0,0120	38,008
ВЦ		$l_{вц}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_в^2+\hat{\omega}_в\hat{\omega}_ц+\hat{\omega}_ц^2)$	1,5	0,0120	24,327
БЗ		$l_{бз}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_б^2+\hat{\omega}_б\hat{\omega}_з+\hat{\omega}_з^2)$	1,5	0,0100	1,577
ЕК		$l_{ек}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_е^2+\hat{\omega}_е\hat{\omega}_к+\hat{\omega}_к^2)$	7,9	0,0140	152,73
КЛ		$l_{кл}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_к^2+\hat{\omega}_к\hat{\omega}_л+\hat{\omega}_л^2)$	1,4	0,0100	11,256
ЛМ		$l_{лм}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_л^2+\hat{\omega}_л\hat{\omega}_м+\omega_м^2)$	0,78	0,0200	19,016

Продолжение табл. 3

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i$, м²	Формула	l_i м	t_i м	$\frac{(3)\times(5)}{3}$, м⁶
1	2	3	4	5	6
КН		$l_{КН}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_К^2+\hat{\omega}_К\hat{\omega}_Н+\hat{\omega}_Н^2)$	2,6	0,0158	51,159
НП		$l_{НП}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Н^2+\hat{\omega}_Н\hat{\omega}_П+\hat{\omega}_П^2)$	1,47	0,0220	112,18
ПР		$l_{ПР}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_П^2+\hat{\omega}_П\hat{\omega}_Р+\hat{\omega}_Р^2)$	1,4	0,0220	197,44
НС		$l_{НС}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Н^2+\hat{\omega}_Н\hat{\omega}_С+\hat{\omega}_С^2)$	1,4	0,0220	129,54
РС		$l_{РС}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Р^2+\hat{\omega}_Р\hat{\omega}_С+\hat{\omega}_С^2)$	1,47	0,0220	236,27
РЧ		$l_{РЧ}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Р^2+\hat{\omega}_Р\hat{\omega}_Ч+\hat{\omega}_Ч^2)$	0,35	0,0220	71,690
ЧТ		$l_{ЧТ}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Ч^2+\hat{\omega}_Ч\hat{\omega}_Т+\hat{\omega}_Т^2)$	1,05	0,0241	278,34
ТФ		$l_{ТФ}\frac{1}{3}(\hat{\omega}_Т^2+\hat{\omega}_Т\hat{\omega}_Ф+\hat{\omega}_Ф^2)$	0,25	0,0220	63,153
Σ					2194,5

$$\widehat{\omega}_{Н} = 121{,}1 - 6{,}31 \cdot 11{,}1 = 51{,}08 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{П} = 136{,}4 - 6{,}31 \cdot 11{,}1 = 66{,}38 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Р} = 154{,}2 - 6{,}31 \cdot 9{,}7 = 93{,}01 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Ч} = 93{,}01 + 0{,}35 \cdot 19{,}78 = 99{,}93 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Т} = 99{,}93 + 9{,}35 \cdot 1{,}05 = 109{,}75 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Ф} = 109{,}75 - 0{,}25 \cdot 20{,}83 = 104{,}54 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{С} = 138{,}9 - 6{,}31 \cdot 9{,}7 = 77{,}71 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Ж} = -0{,}12 - 6{,}31 \cdot 6{,}5 = -41{,}12 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{Ц} = -0{,}04 - 6{,}31 \cdot 5{,}2 = -32{,}84 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{З} = 0{,}00 - 6{,}31 \cdot 1{,}45 = -9{,}15 \text{ м}^2;$$

$$\widehat{\omega}_{И} = 0{,}00 - 6{,}31 \cdot 0 = 0.$$

Вычисление главного секториального момента инерции $I_{\omega}^{л} = \sum_i \frac{l_i t_i}{3}\left(\widehat{\omega}_{i-1}^2 + \widehat{\omega}_{i-1}\widehat{\omega}_i + \widehat{\omega}_i^2\right)$ и полярного момента инерции сечения $I_p = \sum_i h_{i\,\text{ц. к}}^2\, t_i l_i$ см. в табл. 3 и 4 соответственно.

Эпюра главных секториальных площадей представлена на рис. 5.

Таблица 4

Грань	Площадь грани $l_i t_i$, м²	$h_{i\,\text{ц. к}}^2$, м²	(2)×(3), м⁴	Грань	Площадь грани $l_i t_i$, м²	$h_{i\,\text{ц. к}}^2$, м²	(2)×(3), м⁴
АД	0,165	30,8	5,10				
ДК	0,132	123,0	18,2	*СН*	0,0309	108,0	3,34
КН	0,041	123,0	5,05	*КЛ*	0,0140	108,0	1,52
НП	0,0324	123,0	4,0	*ЛМ*	0,0156	94,0	1,46
ПЧ	0,0384	104,0	4,0	*ЕИ*	0,165	30,8	5,10
ЧТ	0,0254	87,0	2,2	*ГЖ*	0,018	42,0	0,76
ТФ	0,0055	89,0	4,90	*ВЦ*	0,018	27,0	0,47
РС	0,0324	94,0	3,04	*БЗ*	0,015	2,1	0,03
				Σ			58,9

На основании табл. 3 и 4:

$$\frac{1}{2} I_{\widehat{\omega}} = \Sigma_6 = 2194{,}5 \text{ м}^6; \quad I_{\widehat{\omega}} = 2 \cdot 2194{,}5 = 4389 \text{ м}^6;$$

$$\frac{1}{2} I_p = 58{,}9 \text{ м}^4; \quad I_p = 117{,}8 \text{ м}^4.$$

Момент инерции чистого (Сен-Венанова кручения) определяется:

$$\frac{1}{2} I_к = t_0 \sum_i^n q_i 2F_i = 1{,}48\ [1{,}425 \times 4{,}35 + 1{,}49 \times 11{,}25 +$$

$$+ 1{,}439 \times 3{,}9 + 1{,}302 \times 13{,}8 + 1{,}067 \times 4{,}12] \times 10^{-2} = 52{,}9 \times 10^{-2}\ м^4;$$

$$I_к = 105{,}8 \times 10^{-2}\ м^4; \quad \mu = \frac{I_p - I_к}{I_p} \approx 1{,}0; \quad I^0_{\widehat{\omega}} = I_{\widehat{\omega}};$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{GI_к}{EI^0_{\widehat{\omega}}}} = \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 10^7 \cdot 105{,}8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 1107 \cdot 4389}} = 0{,}96 \cdot 10^{-2}\ м^{-1}.$$

2. Секториальные и геометрические характеристики поперечного сечения судна с двойным бортом (рис. 6)

Уравнения циркуляции

$$\left.\begin{aligned}
&q_1(l'_{АБ} + l'_{БЗ} + l'_{ЗИ}) - q_2 l'_{БЗ} = 2F_1;\\
&q_2(l'_{БВ} + l'_{ВЦ} + l'_{ЗЦ} + l'_{БЗ}) - q_1 l'_{БЗ} - q_3 l'_{ВЦ} = 2F_2;\\
&q_3(l'_{ВГ} + l'_{ЖГ} + l'_{ЖЦ} + l_{ВЦ}) - q_2 l'_{ВЦ} - q_4 l'_{ЖГ} = 2F_3;\\
&q_4(l'_{ГД} + l'_{ДЕ} + l'_{ЖЕ} + l'_{ЖГ}) - q_3 l'_{ЖГ} - q_5 l'_{ЕМ} = 2F_4;\\
&q_5(l'_{ЕМ} + l'_{ЕК} + l'_{КЛ} + l'_{ЛМ}) - q_6 l'_{КЛ} - q_4 l'_{ЕМ} = 2F_5;\\
&q_6(l'_{КЛ} + l'_{КН} + l'_{НС} + l'_{ЛС}) - q_5 l'_{КЛ} - q_7 l'_{НС} = 2F_6;\\
&q_7(l'_{НС} + l'_{НП} + l'_{ПР} + l'_{РС}) - q_6 l'_{НС} = 2F_7.
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

$F_1 = 1{,}5 \times 1{,}45 = 2{,}175\ м^2, \quad 2F_1 = 4{,}35\ м^2;$
$F_2 = 1{,}5 \times 3{,}75 = 5{,}625\ м^2, \quad 2F_2 = 11{,}25\ м^2;$
$F_3 = 1{,}5 \times 1{,}3 = 1{,}95\ м^2, \quad 2F_3 = 3{,}90\ м^2;$
$F_4 = 1{,}5 \times 4{,}6 = 6{,}90\ м^2, \quad 2F_4 = 13{,}80\ м^2;$
$F_5 = 1{,}4 \times 7{,}9 = 11{,}06\ м^2, \quad 2F_5 = 22{,}12\ м^2;$
$F_6 = 1{,}4 \times 2{,}6 = 3{,}64\ м^2, \quad 2F_6 = 7{,}28\ м^2;$
$F_7 = 1{,}4 \times 1{,}47 = 2{,}06\ м^2, \quad 2F_7 = 4{,}12\ м^2,$
$t_0 = 14{,}8$ — толщина обшивки днища.

Определение приведенных длин граней контуров см. в табл. 5.

Таблица 5

Грань	*АБ*	*БЗ*	*ЗИ*	*БВ*	*ВЦ*	*ЗЦ*	*ВГ*	*ЖГ*	*ЖЦ*	*ГД*	*ДЕ*
Длина грани l, м	1,45	1,5	1,45	3,75	1,5	3,75	1,3	1,5	1,3	4,6	1,5
Толщина грани t, мм	14,8	10	14,8	14,8	12	14,8	14,8	12	14,8	14,8	14
$l' = l\frac{t_0}{t}$ м	1,45	2,22	1,45	3,75	1,85	3,75	1,3	1,85	1,3	4,6	1,59

Продолжение табл. 5

Грань	ЖЕ	ЕМ	ЕК	КЛ	ЛМ	КН	НС	ЛС	НП	ПР	РС
Длина грани l, м	4,6	1,4	7,9	1,4	7,9	2,6	1,4	2,6	1,47	1,4	1,47
Толщина грани t, мм	14,8	14,8	14	10	12	15,8	22	12	22	22	22
$l' = l\frac{t_0}{t}$ м	4,6	1,4	8,35	2,07	9,74	2,44	0,94	3,21	0,99	0,94	0,99

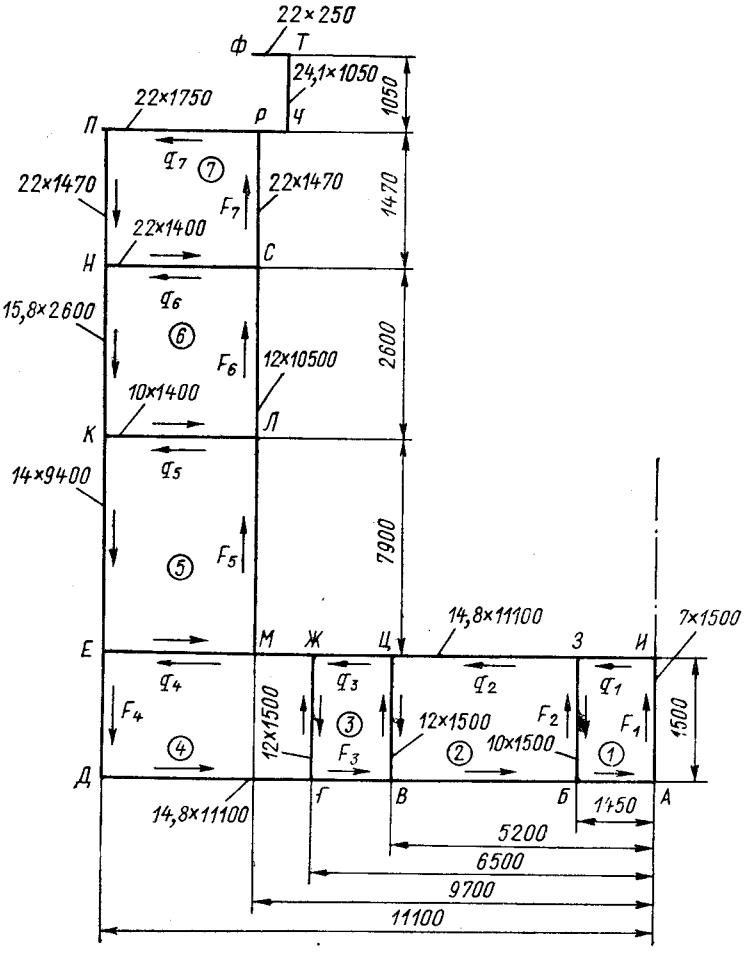


Рис. 6

Подставим полученные значения F_i и l_i' в систему (3)

$$\left.\begin{aligned}
5{,}12q_1 - 2{,}22q_2 &= 4{,}35;\\
-2{,}22q_1 + 11{,}57q_2 - 1{,}85q_3 &= 11{,}25;\\
-1{,}85q_2 + 6{,}3q_3 - 1{,}85q_4 &= 3{,}90;\\
-1{,}85q_3 + 12{,}64q_4 - 1{,}4q_5 &= 13{,}80;\\
-1{,}4q_4 + 21{,}56q_5 - 2{,}07q_6 &= 22{,}12;\\
-2{,}07q_5 + 8{,}66q_6 - 0{,}94q_7 &= 7{,}28;\\
-0{,}94q_6 + 3{,}86q_7 &= 4{,}12.
\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Решив систему (4), получим

$q_1 = 1{,}499$ м; $q_2 = 1{,}497$ м; $q_3 = 1{,}484$ м; $q_4 = 1{,}447$ м; $q_5 = 1{,}244$ м;

$q_6 = 1{,}288$ м; $q_7 = 1{,}381$ м.

Определение начальных секториальных площадей (рис. 7):

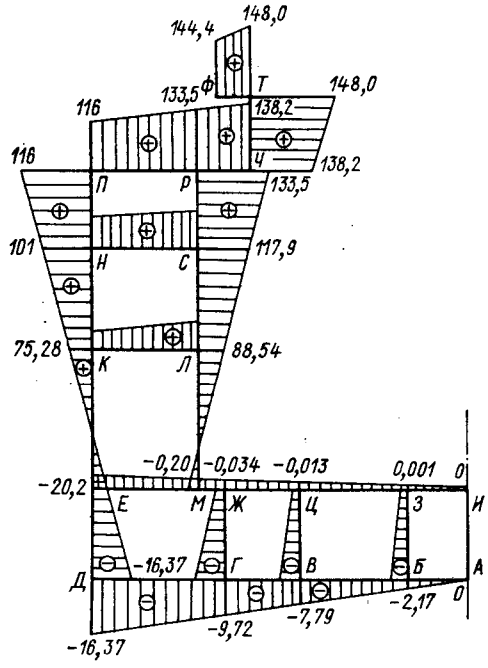


Рис. 7

$$\omega_{Б}^{0} = -q_1 l'_{АБ} = -1{,}499 \cdot 1{,}45 = -2{,}17 \text{ м}^2;$$

$$\omega_{В}^{0} = \omega_{Б}^{0} - q_2 l'_{БВ} = -2{,}17 - 1{,}497 \cdot 3{,}75 = -7{,}79 \text{ м}^2;$$

$$\omega_{Г}^{0} = \omega_{В}^{0} - q_3 l'_{ВГ} = -7{,}79 - 1{,}484 \cdot 1{,}3 = -9{,}72 \text{ м}^2;$$

$$\omega_{Д}^{0} = \omega_{Г}^{0} - q_4 l'_{ГД} = -9{,}72 - 1{,}447 \cdot 4{,}6 = -16{,}37 \text{ м}^2;$$

$$\omega_{Е}^{0} = \omega_{Д}^{0} - q_4 l'_{ДЕ} + \frac{B}{2} l_{ДЕ} = -16{,}37 - 1{,}447 \cdot 1{,}59 +$$

$$+ 11{,}1 \cdot 1{,}5 = -2{,}02 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_К = \overset{0}{\omega}_Е - q_5 l'_{ЕК} + \frac{B}{2} l_{ЕК} = -2{,}02 - 1{,}244 \cdot 8{,}35 + $$

$$+ 11{,}1 \cdot 7{,}9 = +75{,}28 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Н = \overset{0}{\omega}_К - q_6 \cdot l'_{КН} + \frac{B}{2} l_{КН} = 75{,}28 - 1{,}288 \cdot 2{,}44 +$$

$$+ 11{,}1 \cdot 2{,}6 = +101 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_П = \overset{0}{\omega}_Н - q_7 l'_{НП} + \frac{B}{2} l_{НП} = 101 - 1{,}381 \cdot 0{,}99 +$$

$$+ 11{,}1 \cdot 1{,}47 = +116 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Р = \overset{0}{\omega}_П - q_7 l'_{ПР} + l_{ПР} \cdot 13{,}47 = 116 - 1{,}381 \cdot 0{,}94 +$$

$$+ 1{,}4 \cdot 13{,}47 = +133{,}5 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Ч = \overset{0}{\omega}_Р + l_{РЧ} \cdot 13{,}47 = 133{,}5 + 0{,}35 \cdot 13{,}47 = +138{,}2 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Т = \overset{0}{\omega}_Ч + l_{ЧТ} \cdot 9{,}35 = 138{,}2 + 1{,}05 \cdot 9{,}35 = +148 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Ф = \overset{0}{\omega}_Т - l_{ТФ} \cdot 14{,}52 = 148 - 0{,}25 \cdot 14{,}52 = +144{,}4 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_З = q_1 l'_{ЗИ} - l_{ЗИ} \cdot 1{,}5 = 1{,}499 \cdot 1{,}45 - 1{,}45 \cdot 1{,}5 = -0{,}001 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Ц = \overset{0}{\omega}_З + q_2 - l_{ЗЦ} \cdot 1{,}5 = -0{,}001 + 1{,}497 \cdot 3{,}75 -$$

$$- 3{,}75 \cdot 1{,}5 = -0{,}013 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Ж = \overset{0}{\omega}_Ц + q_3 l_{ЖЦ} - l_{ЖЦ} \cdot 1{,}5 = -0{,}013 + 1{,}484 \cdot 1{,}3 -$$

$$- 1{,}3 \cdot 1{,}5 = -0{,}034 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_М = \overset{0}{\omega}_Е + (q_5 - q_4) l'_{ЕМ} + l_{ЕМ} \cdot 1{,}5 = -2{,}02 + (1{,}244 - 1{,}447) \times$$

$$\times 1{,}4 + 1{,}4 \cdot 1{,}5 = -0{,}20 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_Л = \overset{0}{\omega}_М + q_5 l'_{ЛМ} + l_{ЛМ} \cdot 9{,}7 = -0{,}20 + 1{,}244 \cdot 9{,}74 +$$

$$+ 7{,}9 \cdot 9{,}7 = +88{,}54 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_С = \overset{0}{\omega}_Л + q_6 l'_{ЛС} + l_{ЛС} \cdot 9{,}7 = 88{,}54 + 1{,}288 \cdot 3{,}21 +$$

$$+ 2{,}6 \cdot 9{,}7 = +117{,}9 \text{ м}^2;$$

$$\frac{1}{2} S_{0_{\omega_y}} = 360{,}22 \text{ м}^5; \quad \frac{1}{2} I_y = 65{,}96 \text{ м}^4;$$

$$y_{ц.к} = -\frac{S_{0_{\omega_y}}}{I_y} = -\frac{2 \cdot 360{,}22}{2 \cdot 65{,}96} = -5{,}46 \text{ м}.$$

Вычисление главных секториальных площадей (см. рис. 8 и 9) производится на основании определения линейно-секториального статического момента и момента инерции относительно оси y (табл. 6):

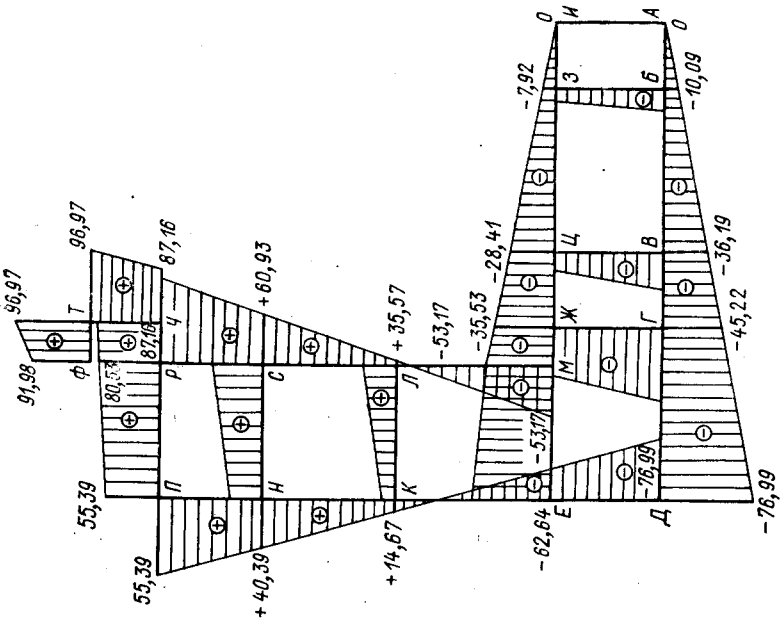

96,97
96,97
91,98
87,16
80,58
55,39
55,39
+60,93
+35,57
-53,17
+40,39
+14,67
-35,53
-28,41
-53,17
-62,64
-7,92
-76,99
-10,09
-36,19
-45,22
-76,99
Ф
Т
Ч
Р
С
Л
П
Н
К
М
Ж
Е
Ц
В
Г
Д
З
Б
И
А
О

Рис. 9

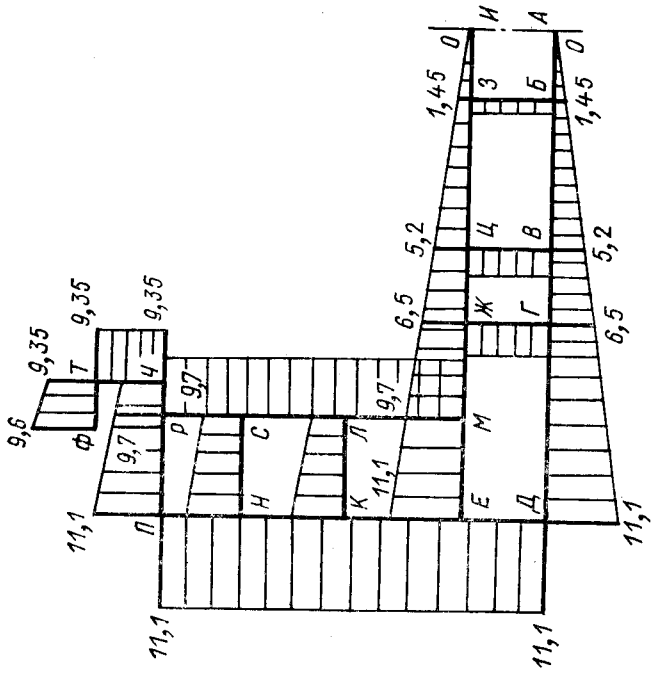

9,6
9,35
9,35
9,35
9,7
9,7
11,1
11,1
11,1
11,1
1,45
1,45
5,2
5,2
6,5
6,5
Ф
Т
Ч
Р
С
Л
П
Н
К
М
Ж
Е
Ц
В
Г
Д
З
Б
И
А
О

Рис. 8

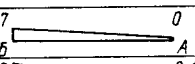
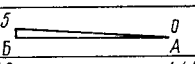
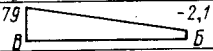
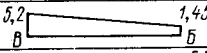
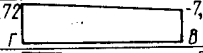
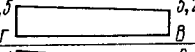
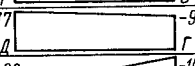
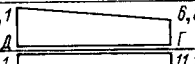
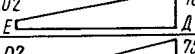
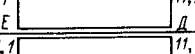
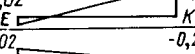
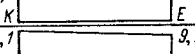
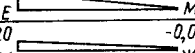
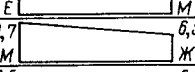
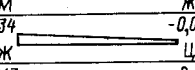
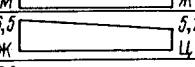
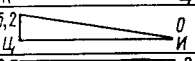
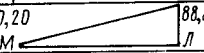
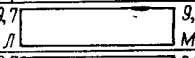
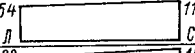
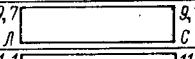
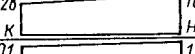
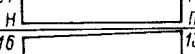
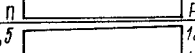
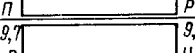
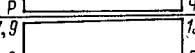
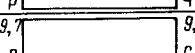
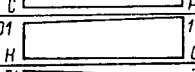
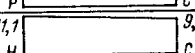
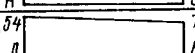
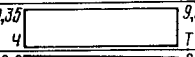
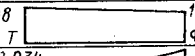
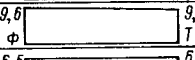
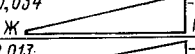
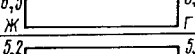
Грань	Длина грани l_i, м	Площадь грани F_i, м^2	Эпюры	
			ω_i м^2	x_i м
1	2	3	4	5
АБ	1,45	0,0215		
БВ	3,75	0,0555		
ВГ	1,3	0,0192		
ГД	4,6	0,0681		
ДЕ	1,5	0,0210		
ЕК	7,9	0,1106		
ЕМ	1,4	0,0207		
МЖ	3,2	0,0474		
ЖЦ	1,3	0,0192		
ЦИ	5,2	0,0770		
ЛМ	7,9	0,0948		
ЛС	2,6	0,0348		
КН	2,6	0,0411		
НП	1,47	0,0323		
ПР	1,4	0,0308		
РЧ	0,35	0,0077		
РС	1,47	0,0323		
НС	1,4	0,0308		
КЛ	1,4	0,0140		
ЧТ	1,05	0,0253		
ФТ	0,25	0,0055		
ЖГ	1,5	0,0180		
ВЦ	1,5	0,0180		
БЗ	1,5	0,0150		
Σ				

Таблица 6

$\int_l \omega_i x_i dl$		t_i м	(7)×(8)	x_i м	Момент инерции	
Формула	Результат, м⁴				$F_i x_i^2$ м⁴	$i_{соб}$ м⁴
6	7	8	9	10	11	12
$\frac{1}{3}\omega_Б x_Б l_{Б}$	-1,52	0,0148	-0,022	8,55	5,061	1,687
$\frac{l}{6}[\omega_Б(x_Б+2x_{Б})+\omega_В(x_В+2x_Б)]$	-69,68	0,0148	-1,016			
$\frac{l}{6}[\omega_Г(x_В+2x_{В})+\omega_В(x_Г+2x_В)]$	-66,85	0,0148	-0,989			
$\frac{l}{6}[\omega_Г(x_Д+2x_Г)+\omega_Д(x_Г+2x_Д)]$	-539,8	0,0148	-7,989			
$\frac{l}{2}x_Е(\omega_Е+\omega_Д)$	-153,1	0,0140	-2,143	11,7	16,214	—
$\frac{l}{2}x_Е(\omega_Е+\omega_К)$	3212	0,0140	44,969			
$\frac{l}{6}[\omega_Е(x_М+2x_Г)+\omega_М(x_Е+2x_М)]$	-15,48	0,0148	-0,244	8,55	5,061	1,687
$\frac{l}{6}[\omega_М(x_Ж+2x_М)+\omega_Ж(x_М+2x_Ж)]$	-3,17	0,0148	-0,047			
$\frac{l}{3}[\omega_Ж(x_Ц+2x_Ж)+\omega_Ц(x_Ж+2x_Ц)]$	-0,18	0,0148	-0,003			
$\frac{l}{3}\omega_Ц x_Ц l_{инц}$	-0,12	0,0148	-0,002			
$\frac{l}{2}x_М(\omega_М+\omega_Л)$	3385	0,0120	40,617	9,7	12,194	—
$\frac{l}{2}x_Л(\omega_Л+\omega_С)$	2603	0,0120	31,238			
$\frac{l}{2}x_К(\omega_Н+\omega_К)$	2544	0,0158	40,191	11,1	5,064	—
$\frac{l}{2}x_Н(\omega_П+\omega_П)$	1770	0,0220	38,949	11,1	3,980	—
$\frac{l}{6}[\omega_П(x_Р+2x_П)+\omega_Р(x_П+2x_Р)]$	1813	0,0220	39,897	10,225	3,220	0,010
$\frac{l}{6}[\omega_Р(x_Ч+2x_Р)+\omega_Ч(x_Р+2x_Ч)]$	452,8	0,0220	9,953			
$\frac{l}{2}x_Р(\omega_С+\omega_{Г})$	1792	0,0220	39,432	9,3	3,039	—
$\frac{l}{6}[\omega_Н(x_С+2x_Н)+\omega_С(x_Н+2x_С)]$	1591	0,0220	34,998	10,4	3,331	0,005
$\frac{l}{6}[\omega_Л(x_К+2x_Л)+\omega_К(x_Л+2x_К)]$	1180	0,0100	11,904	10,4	1,514	0,002
$\frac{l}{6}x_Г(\omega_Ч+\omega_Т)$	1405	0,0241	33,858	9,35	2,12	—
$\frac{l}{6}[\omega_Ф(x_Т+2x_Ф)+\omega_Г(x_Ф+2x_Г)]$	346,3	0,0220	7,618	9,475	0,494	—
$\frac{l}{2}x_Г(\omega_Ж+\omega_Г)$	-47,55	0,0120	-0,571	6,5	0,760	—
$\frac{l}{2}x_Б(\omega_В+\omega_Ч)$	-30,43	0,0120	-0,365	5,2	0,487	—
$\frac{l}{2}x_Б(\omega_Б+\omega_З)$	-2,36	0,0100	-0,024	1,45	0,032	—
			+360,22		65,96	

$$\hat{\omega}_i = \overset{0}{\omega}_i + y_{\text{ц.к}}\, x_i = \overset{0}{\omega}_i - 5{,}46 x_i;$$

$$\hat{\omega}_\text{Б} = -2{,}17 - 5{,}46 \cdot 1{,}45 = -10{,}09 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{В} = -7{,}79 - 5{,}46 \cdot 5{,}2 = -36{,}19 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Г} = -9{,}72 - 5{,}46 \cdot 6{,}5 = -45{,}22 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Д} = -16{,}37 - 5{,}46 \cdot 11{,}1 = -76{,}99 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Е} = -2{,}02 - 5{,}46 \cdot 11{,}1 = -62{,}64 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{К} = 75{,}28 - 5{,}46 \cdot 11{,}1 = +14{,}67 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Н} = 101 - 5{,}46 \cdot 11{,}1 = +40{,}39 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{П} = 116 - 5{,}46 \cdot 11{,}1 = +55{,}39 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Р} = 133{,}5 - 5{,}46 \cdot 9{,}7 = +80{,}53 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Ч} = 80{,}53 + 0{,}35 \cdot 18{,}93 = 87{,}16 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Т} = 87{,}16 + 1{,}05 \cdot 9{,}35 = 96{,}97 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Ф} = 96{,}97 - 0{,}25 \cdot 19{,}98 = 91{,}98 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{З} = -0{,}001 - 5{,}46 \cdot 1{,}45 = -7{,}92 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Ц} = -0{,}013 - 5{,}46 \cdot 5{,}2 = -28{,}41 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Ж} = -0{,}034 - 5{,}46 \cdot 6{,}5 = -35{,}53 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{М} = -0{,}20 - 5{,}46 \cdot 9{,}7 = -53{,}17 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{Л} = 88{,}54 - 5{,}46 \cdot 9{,}7 = +35{,}57 \text{ м}^2;$$

$$\hat{\omega}_\text{С} = 117{,}9 - 5{,}46 \cdot 9{,}7 = +64{,}93 \text{ м}^2.$$

На основании данных табл. 6 и 7 производится вычисление главного секториального момента инерции

$$\frac{1}{2} I_{\hat{\omega}} = 1589 \text{ м}^6; \quad I_{\hat{\omega}} = 2 \cdot 1589 = 3178 \text{ м}^2.$$

Момент инерции свободного кручения

$$\frac{1}{2} I_\text{к} = t_0 \sum_1^7 q_i \, [2F_i];$$

$$\frac{1}{2} I_\text{к} = 0{,}0148 \, [1{,}499 \cdot 4{,}35 + 1{,}497 \cdot 11{,}25 + 1{,}484 \cdot 3{,}9 +$$

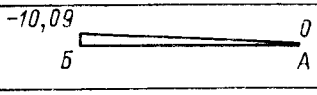
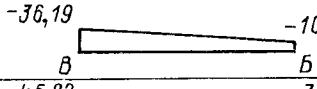
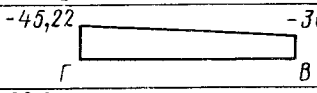
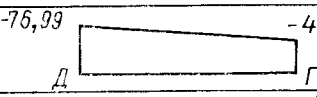
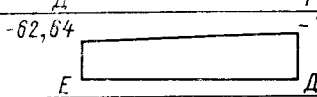
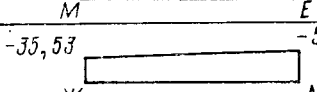
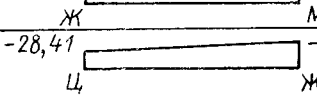
$$+ 1{,}447 \cdot 13{,}8 + 1{,}244 \cdot 22{,}12 + 1{,}288 \cdot 7{,}28 + 1{,}381 \cdot 4{,}12] =$$

$$= 91{,}75 \cdot 0{,}0148 = 1{,}36 \text{ м}^4;$$

$$I_\text{к} = 2{,}72 \text{ м}^4; \quad \mu \approx 1{,}0;$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{GI_\text{к}}{EI_{\hat{\omega}}}} = \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 10^7 \cdot 9{,}72}{2{,}1 \cdot 10^7 \cdot 3178}} = 1{,}78 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1}$$

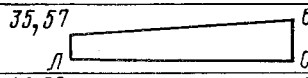
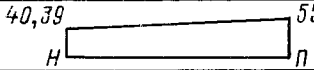
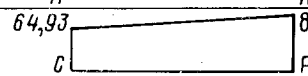
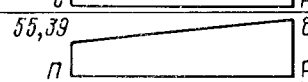
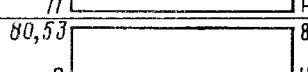
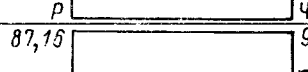
Таблица 7

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i, м^2$	Формула	l_i м	t_i м	(3)×(5), $м^6$
1	2	3	4	5	6
АБ		$l_{АБ}\frac{1}{3}\hat{\omega}_Б^2$	1,45	0,0148	0,728
БВ		$\frac{1}{3}l_{БВ}(\hat{\omega}_В^2+\hat{\omega}_В\hat{\omega}_Б+\hat{\omega}_Б^2)$	3,75	0,0148	32,869
ВГ		$\frac{1}{3}l_{ВГ}(\hat{\omega}_В^2+\hat{\omega}_В\hat{\omega}_Г+\hat{\omega}_Г^2)$	1,3	0,0148	32,009
ГД		$\frac{1}{3}l_{ГД}(\hat{\omega}_Г^2+\hat{\omega}_Г\hat{\omega}_Д+\hat{\omega}_Д^2)$	4,6	0,0148	56,505
ДЕ		$\frac{1}{3}l_{ДЕ}(\hat{\omega}_Д^2+\hat{\omega}_Д\hat{\omega}_Е+\hat{\omega}_Е^2)$	1,5	0,0140	102,72
ЕМ		$\frac{1}{3}l_{ЕМ}(\hat{\omega}_Е^2+\hat{\omega}_Е\hat{\omega}_М+\hat{\omega}_М^2)$	1,4	0,0148	69,629
МЖ		$\frac{1}{3}l_{МЖ}(\hat{\omega}_М^2+\hat{\omega}_М\hat{\omega}_Ж+\hat{\omega}_Ж^2)$	3,2	0,0148	94,382
ЖЦ		$\frac{1}{3}l_{ЖЦ}(\hat{\omega}_Ж^2+\hat{\omega}_Ж\hat{\omega}_Ц+\hat{\omega}_Ц^2)$	1,3	0,0148	19,746

Продолжение табл. 7

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i$, м^2	Формула	l_i, м	t_i, м	(3)×(5), м^6
1	2	3	4	5	6
ЗЦ	−7,92 (З) … −28,41 (Ц)	$\frac{1}{3} l_{зц} (\hat{\omega}_з^2 + \hat{\omega}_з \hat{\omega}_ц + \hat{\omega}_ц^2)$	3,75	0,0148	20,255
ЗИ	0 (И) … −7,92 (З)	$\frac{1}{3} l_{зи} \hat{\omega}_з^2$	1,45	0,0148	0,499
БЗ	−10,09 (Б) … −7,92 (З)	$\frac{1}{3} l_{бз} (\hat{\omega}_б^2 + \hat{\omega}_б \hat{\omega}_з + \hat{\omega}_з^2)$	1,5	0,0100	1,222
ВЦ	−36,19 (В) … −28,41 (Ц)	$\frac{1}{3} l_{вц} (\hat{\omega}_в^2 + \hat{\omega}_в \hat{\omega}_ц + \hat{\omega}_ц^2)$	1,5	0,0120	18,870
ЖГ	−45,22 (Г) … −35,53 (Ж)	$\frac{1}{3} l_{жг} (\hat{\omega}_ж^2 + \hat{\omega}_ж \hat{\omega}_г + \hat{\omega}_г^2)$	1,5	0,0120	29,483
ЕК	−62,64 (Е) … 14,67 (К)	$\frac{1}{3} l_{ек} (\hat{\omega}_е^2 - \hat{\omega}_е \hat{\omega}_к + \hat{\omega}_к^2)$	7,9	0,0140	118,71
ЛМ	−53,17 (М) … 35,57 (Л)	$\frac{1}{3} l_{лм} (\hat{\omega}_л^2 - \hat{\omega}_л \hat{\omega}_м + \hat{\omega}_м^2)$	7,9	0,0120	69,552
КЛ	14,67 (К) … 35,57 (Л)	$\frac{1}{3} l_{кл} (\hat{\omega}_к^2 + \hat{\omega}_к \hat{\omega}_л + \hat{\omega}_л^2)$	1,4	0,0100	9,344
КН	14,67 (К) … 40,39 (Н)	$\frac{1}{3} l_{кн} (\hat{\omega}_к^2 + \hat{\omega}_к \hat{\omega}_н + \hat{\omega}_н^2)$	2,6	0,0158	33,399

Продолжение табл. 7

Грань	Эпюра $\hat{\omega}_i$, м^2	Формула	l_i м	t_i м	(3)×(5), м^6
1	2	3	4	5	6
ЛС		$\frac{1}{3} l_{лс}(\hat{\omega}_л^2 + \hat{\omega}_л\hat{\omega}_с + \hat{\omega}_с^2)$	2,6	0,0120	81,023
НС		$\frac{1}{3} l_{нс}(\hat{\omega}_н^2 + \hat{\omega}_н\hat{\omega}_с + \hat{\omega}_с^2)$	1,4	0,0220	89,956
НП		$\frac{1}{3} l_{нп}(\hat{\omega}_н^2 + \hat{\omega}_н\hat{\omega}_п + \hat{\omega}_п^2)$	1,47	0,0220	74,777
РС		$\frac{1}{3} l_{рс}(\hat{\omega}_р^2 + \hat{\omega}_р\hat{\omega}_с + \hat{\omega}_с^2)$	1,47	0,0220	171,72
ПР		$\frac{1}{3} l_{пр}(\hat{\omega}_п^2 + \hat{\omega}_п\hat{\omega}_р + \hat{\omega}_р^2)$	1,4	0,0220	143,87
РЧ		$\frac{1}{3} l_{рч}(\hat{\omega}_р^2 + \hat{\omega}_р\hat{\omega}_ч + \hat{\omega}_ч^2)$	0,35	0,0220	54,159
ЧТ		$\frac{1}{3} l_{чт}(\hat{\omega}_ч^2 + \hat{\omega}_ч\hat{\omega}_т + \hat{\omega}_т^2)$	1,05	0,0241	214,69
ТФ		$\frac{1}{3} l_{тф}(\hat{\omega}_т^2 + \hat{\omega}_т\hat{\omega}_ф + \hat{\omega}_ф)$	0,25	0,0220	49,102
Σ					1589

3. Определение секториальных и геометрических характеристик поперечного сечения судна с двойным дном и двумя замкнутыми контурами (рис. 10)

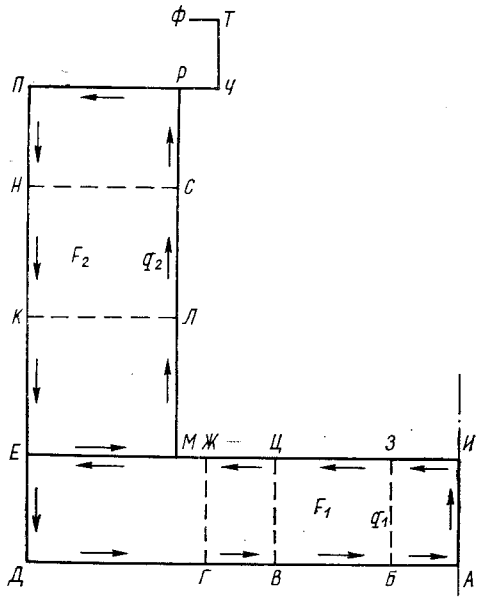


Рис. 10

При составлении уравнений циркуляции показанные на рис. 10 пунктиром связи во внимание не принимаются:

$$\left.\begin{aligned} q_1\left(l'_{АД}+l'_{ДЕ}+l'_{ЕИ}\right)-q_2 l_{ЕМ}=2F_1;\\ q_2\left(l'_{ЕП}+l'_{ПР}+l'_{РМ}\right)-q_1 l'_{ЕМ}=2F_2. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

где $F_1=1{,}5\times11{,}1=16{,}65$ м², $F_2=1{,}4\times11{,}97=16{,}76$ м², $2F_1=33{,}3$ м², $2F_2=33{,}52$ м², $t_0=14{,}8$ мм — толщина обшивки днища.

Определение приведенных длин граней контуров см. в табл. 8.

Таблица 8

Грань	*АД*	*ДЕ*	*ЕИ*	*ЕМ*	*МС*	*РС*	*ПР*	*ЕК*	*КН*	*НП*
Длина грани l_i, м	11,1	1,5	11,1	1,4	10,5	1,47	1,4	7,9	2,6	1,47
Толщина грани t_i, мм	14,8	14	14,8	14,8	12	22	22	14	15,8	22
$l'_i=l_i\frac{t_0}{t_i}$ м	11,1	1,59	11,1	1,4	12,95	0,99	0,94	8,35	2,44	0,99

Подставив полученные значения l_i и F_i в систему (5), получим

$$\left.\begin{aligned} 23{,}79q_1 - 1{,}4q_2 &= 33{,}30; \\ -1{,}4q_1 + 28{,}06q_2 &= 33{,}52; \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= 1{,}474 \text{ м}; \\ q_2 &= 1{,}268 \text{ м}. \end{aligned}\right\}$$

Определение начальных секториальных площадей

$$\overset{0}{\omega}_{Б} = -q_1 l'_{АБ} = -1{,}474 \cdot 1{,}45 = -2{,}14 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{В} = \overset{0}{\omega}_{Б} - q_1 l'_{ББ} = -2{,}14 - 1{,}474 \cdot 3{,}75 = -7{,}66 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Г} = \overset{0}{\omega}_{В} - q_1 l'_{ВГ} = -7{,}66 - 1{,}474 \cdot 1{,}3 = -9{,}58 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Д} = \overset{0}{\omega}_{Г} - q_1 l'_{ГД} = -9{,}58 - 1{,}474 \cdot 4{,}6 = -16{,}36 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Е} = \overset{0}{\omega}_{Д} - q_1 l'_{ДЕ} + 11{,}1 l_{ДЕ} = -16{,}36 - 1{,}474 \cdot 1{,}59 + 11{,}1 \cdot 1{,}5 = -2{,}06 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{К} = \overset{0}{\omega}_{Е} - q_2 l'_{ЕК} + 11{,}1_{ЕК} = -2{,}06 - 1{,}268 \cdot 8{,}35 + 11{,}1 \cdot 7{,}9 = +75{,}04 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Н} = \overset{0}{\omega}_{К} - q_2 l'_{КН} + 11{,}1 l_{КН} = 75{,}04 - 1{,}268 \cdot 2{,}44 + 11{,}1 \cdot 2{,}6 = +100{,}8 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{П} = \overset{0}{\omega}_{Н} - q_2 l'_{НП} + 11{,}1 l_{НП} = 100{,}8 - 1{,}268 \cdot 0{,}99 + 11{,}1 \cdot 1{,}47 = +115{,}9 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Р} = \overset{0}{\omega}_{П} - q_2 l'_{ПР} + 13{,}47 l_{ПР} = 115{,}9 - 1{,}268 \cdot 0{,}94 + 13{,}47 \cdot 1{,}4 = +133{,}5 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ч} = \overset{0}{\omega}_{Р} + l_{РЧ} \cdot 13{,}47 = 133{,}5 + 0{,}35 \cdot 13{,}47 = 138{,}2 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Т} = \overset{0}{\omega}_{Ч} + l_{ЧТ} \cdot 9 \cdot 35 = 138{,}2 + 1{,}05 \cdot 9{,}35 = 148{,}1 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ф} = \overset{0}{\omega}_{Т} - l_{ТФ} \cdot 14{,}52 = 148{,}1 - 0{,}25 \cdot 14{,}52 = 144{,}4 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{З} = q_1 l'_{ЗИ} - 1{,}5 l_{ЗИ} = 1{,}474 \cdot 1{,}45 - 1{,}5 \cdot 1{,}45 = -0{,}038 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ц} = \overset{0}{\omega}_{З} + q_1 l'_{ЗЦ} - 1{,}5 l_{ЗЦ} = -0{,}038 + 1{,}474 \cdot 3{,}75 - 1{,}5 \cdot 3{,}75 = -0{,}135 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Ж} = \overset{0}{\omega}_{Ц} + q_1 l'_{ЖЦ} - 1{,}5 l_{ЖЦ} = -0{,}135 + 1{,}474 \cdot 1{,}3 - 1{,}5 \cdot 1{,}3 = -0{,}169 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{М} = \overset{0}{\omega}_{Ж} + q_1 l'_{ЖМ} - 1{,}5 l_{ЖМ} = -0{,}169 + 1{,}474 \cdot 3{,}2 - 1{,}5 \cdot 3{,}2 = -0{,}25 \text{ м}^2;$$

$$\overset{0}{\omega}_{Л} = \overset{0}{\omega}_{М} + q_2 l'_{ЛМ} + 9{,}7 l_{ЛМ} = -0{,}25 + 1{,}268 \cdot 9{,}74 + $$
$$+ 9{,}7 \cdot 7{,}9 = +88{,}73 \text{ м}^2;$$
$$\overset{0}{\omega}_{С} = \overset{0}{\omega}_{Л} + q_2 l'_{ЛС} + 9{,}7 l_{ЛС} = 88{,}73 + 1{,}268 \cdot 3{,}21 + $$
$$+ 9{,}7 \cdot 2{,}61 = +118 \text{ м}^2.$$

$$\frac{I_к}{2} = t_0 \sum_1^2 q_i [2F_i] = 0{,}0148 [1{,}474 \cdot 33{,}3 + 1{,}268 \cdot 33{,}52] =$$
$$= 0{,}0148 [49{,}0 + 42{,}5] = 0{,}0148 \cdot 91{,}5 = 1{,}35 \text{ м}^4;$$
$$I_к = 2{,}70 \text{ м}^4.$$

Примечание. Дальнейшие вычисления опущены, так как являются очевидными.

4. Судно с полностью открытым сечением (рис. 11)

На рис. 12 показано схематизированное сечение корпуса судна. На рис. 13—15 приведены эпюры соответственно x_i, начальных секториальных и главных секториальных площадей.

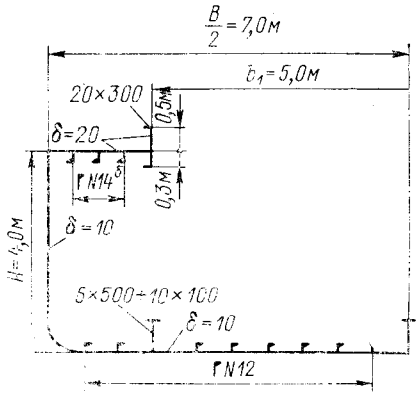


Рис. 11

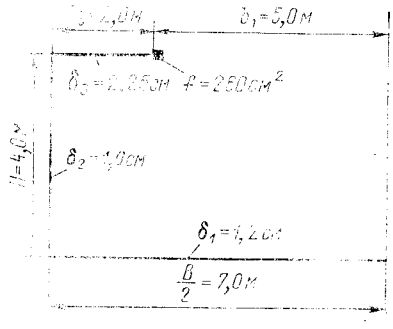


Рис. 12

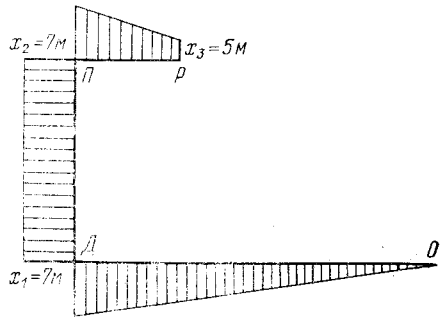


Рис. 13

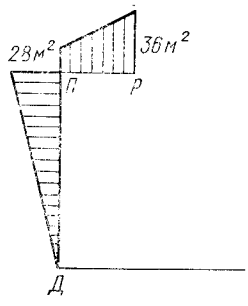


Рис. 14

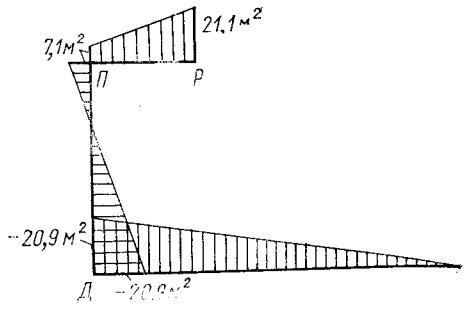


Рис. 15

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТЕСНЕННОГО КРУЧЕНИЯ, ПРИВЕДЕННЫХ В РАЗД. 8

Для определения параметров стесненного кручения контейнерного судна третьего поколения использованы зависимости разд. 8.

Расчет выполнен для двух вариантов расположения МО по длине судна. В первом случае МО расположено в кормовой оконечности; во втором — сдвинуто в нос и разделяет собой носовые и кормовой трюмы (рис. 1). Судно длиной 280 м разбивается по длине на шесть участков, в пределах каждого из которых значения секториальных и геометрических характеристик принимаются постоянными, соответствующими среднему по длине участка сечению корпуса судна.

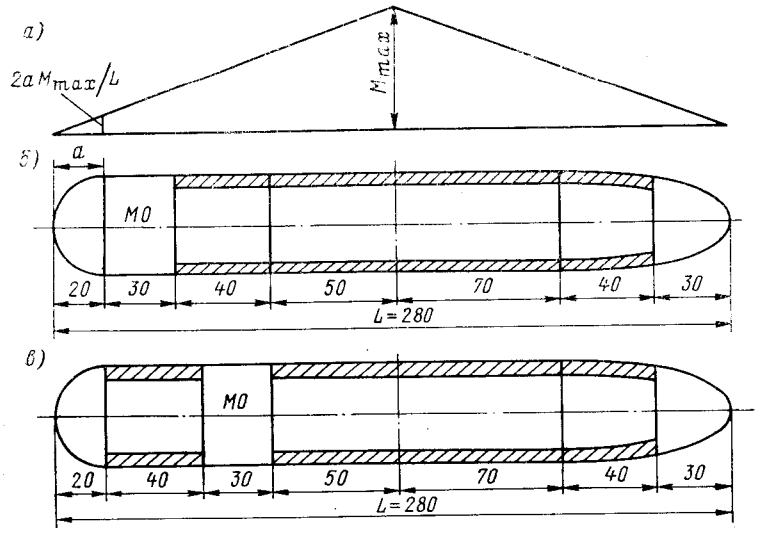


Рис. 1. Эпюра внешних крутящих моментов (*а*) и схемы расположения отсеков: первый случай (*б*); второй случай (*в*)

На рис. 1 показана протяженность этих участков в обоих вариантах. Здесь же приведена принятая в расчете эпюра внешних крутящих моментов.

Числовые значения изгибно-крутильной характеристики и остальных параметров на каждом из участков судна, необходимые для решения уравнения (8.37), приведены в табл. 1 и 2.

Поскольку на левом и правом концах судна, т. е. при $x=0$ и $x=L$ бимоменты равны нулю, то

$$\varphi''(0) = -\frac{m(0)}{GI_p(x=0)} \text{ и } \varphi''(L) = \frac{m(L)}{GI_p(x=L)}.$$

Используя значения коэффициентов, приведенные в этих таблицах, имеем

$$\varphi''(0) = -1{,}25 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-2}; \quad \varphi''(L) = 1{,}25 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-2}.$$

Кроме того, $\varphi(0)=0$.

При заданных исходных данных были получены значения углов закручивания $\varphi(x)$, погонных углов закручивания $\varphi'(x)$, а также значения бимоментов для обоих вариантов расположения МО.

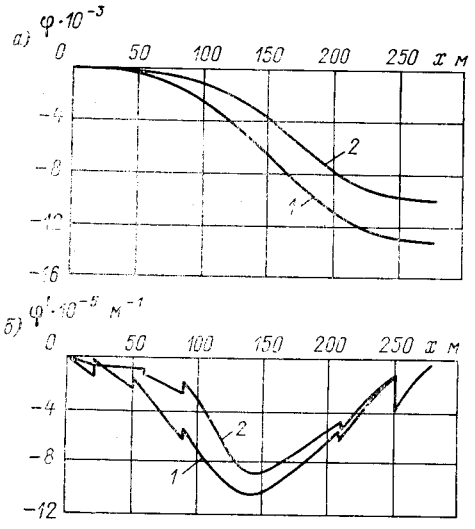


Рис. 2. Распределение углов поворота (*а*) погонных углов закручивания (*б*) и сечений корпуса по длине судна при расположении МО:
1 — в кормовой оконечности; *2* — между грузовыми трюмами

На рис. 2 приведены значения $\varphi(x)$ и $\varphi'(x)$ в указанных двух случаях. Из этого рисунка, в частности, следует, что концевые сечения поворачиваются относительно друг друга приблизительно на 44,5′ в первом варианте и на 34,5′ во втором. Сечения, ограничивающие районы грузовых трюмов, в первом варианте поворачиваются на угол $\varphi=41'$. Эпюры бимоментов приведены на рис. 3 и 4. Бимоменты в местах сопряжения открытых и закрытых участков сечений в первом варианте соответственно равны:

$$B_{x=50\text{ м}} = -2{,}0 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м}^2 \text{ и } B_{x=250\text{ м}} = 2{,}35 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м}^2.$$

Причем значение $B=2{,}35 \cdot 10^6$ тс·м^2 оказалось максимальным для рассматриваемого случая. Наибольшее значение ординаты бимомента во втором варианте имеет место в сечении, совпадающем с носовой переборкой МО и равно: $B_{x=90\text{ м}}=-2{,}56 \cdot 10^6$ тс·м^2.

В обоих случаях значения бимомента в местах сопряжения открытой и закрытой частей в носу оказались практически одинаковыми и равными $2{,}34 \cdot 10^6$ тс·м^2 в первом варианте и $2{,}18 \cdot 10^6$ тс·м^2 — во втором.

В табл. 3 приведены значения ординат бимоментов в любом сечении по длине судна в обоих вариантах.

Для сопоставления результатов вычислений, выполненных с учетом переменности параметров стесненного кручения, по длине судна и в предположении постоянства этих параметров на длине открытой части судна рассматривается контейнеровоз с расположением МО в кормовой оконечности.

При этом $\varkappa_к$ и $\varkappa_н$ принимаются равными единице.

Таблица 1

Отсек	Длина пролета l_j м	I^0_ω м⁶	$I_к$ м⁴	$I_р$ м⁴	$K=\sqrt{\frac{I^0_{\omega_-}}{I^0_{\omega_+}}}$	$I_{р_+}-I_{к+}$ м⁴	$I_{р_-}-I_{к_-}$ м⁴	$\gamma=\frac{I_{р_+}-I_{к_+}}{I_{р_-}-I_{к_-}}$	$K\gamma$	$\frac{I_{р_-}}{I_{р_+}}$	$A_1=\frac{K\gamma I_{р_-}}{I_{р_+}}$
0—1	20	$0,1\cdot10^5$	$0,3\cdot10^3$	$0,572\cdot10^3$	0,58	—	—	—	—	—	—
1—2	30	$0,3\cdot10^5$	$0,75\cdot10^3$	$0,9\cdot10^3$	0,58	$0,15\cdot10^3$	$0,272\cdot10^3$	0,55	0,32	0,635	0,2
2—3	40	$0,72\cdot10^5$	$0,065\cdot10^3$	$1,3\cdot10^3$	0,64	$1,235\cdot10^3$	$0,15\cdot10^3$	8,2	5,4	0,69	3,5
3—4	50	$1,0\cdot10^5$	$0,05\cdot10^3$	$1,0\cdot10^3$	0,85	$0,95\cdot10^3$	$1,235\cdot10^3$	0,76	0,65	1,3	0,85
4—5	70	$1,0\cdot10^5$	$0,05\cdot10^3$	$1,0\cdot10^3$	1,0	$0,95\cdot10^3$	$0,95\cdot10^3$	1,0	1	1	1
5—6	40	$0,72\cdot10^5$	$0,065\cdot10^3$	$1,3\cdot10^3$	1,18	$1,235\cdot10^3$	$0,95\cdot10^3$	1,3	1,54	0,77	1,18
6—7	30	$0,1\cdot10^5$	$0,35\cdot10^3$	$0,572\cdot10^3$	2,68	$0,222\cdot10^3$	$1,235\cdot10^2$	0,18	0,485	2,28	1,1

Таблица 2

Отсек	$A_2=K$	$GI_{p+}\cdot10^{10}$	$(K\gamma-1)\,0,8\cdot10^5$	$B_1=\frac{M_{кр}\,(K\gamma-1)}{GI_{p^+}}$	$K\frac{m_-}{GI_{p_-}}$	$\frac{m_+}{GI_{p_+}}$	$B_2=K\frac{m_-}{GI_{p_-}}-\frac{m_+}{GI_{p_+}}$
1—2	0,58	0,72	—0,54	$-0,72\cdot10^{-5}$	$0,72\cdot10^{-7}$	$0,79\cdot10^{-7}$	$-0,07\cdot10^{-7}$
2—3	0,64	1,04	3,3	$3,18\cdot10^{-5}$	$0,5\cdot10^{-7}$	$0,55\cdot10^{-7}$	$-0,05\cdot10^{-7}$
3—4	0,85	0,8	—0,28	$-0,35\cdot10^{-5}$	$0,59\cdot10^{-7}$	$0,71\cdot10^{-7}$	$-0,12\cdot10^{-7}$
4—5	1,0	0,8	0	0	$0,71\cdot10^{-7}$	$-0,71\cdot10^{-7}$	$1,42\cdot10^{-7}$
5—6	1,18	1,04	0,44	$0,42\cdot10^{-5}$	$-0,85\cdot10^{-7}$	$-0,55\cdot10^{-7}$	$-0,3\cdot10^{-7}$
6—7	2,68	0,46	—0,305	$-0,66\cdot10^{-5}$	$-1,5\cdot10^{-7}$	$-1,25\cdot10^{-7}$	$-0,25\cdot10^{-7}$

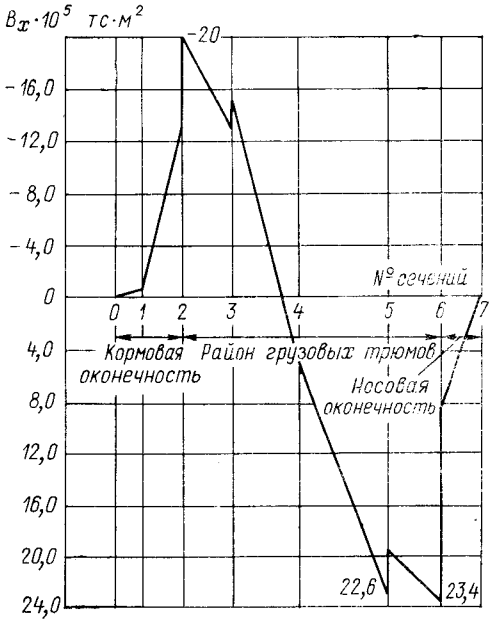


Рис. 3. Эпюра бимоментов по длине судна при расположении МО в кормовой оконечности

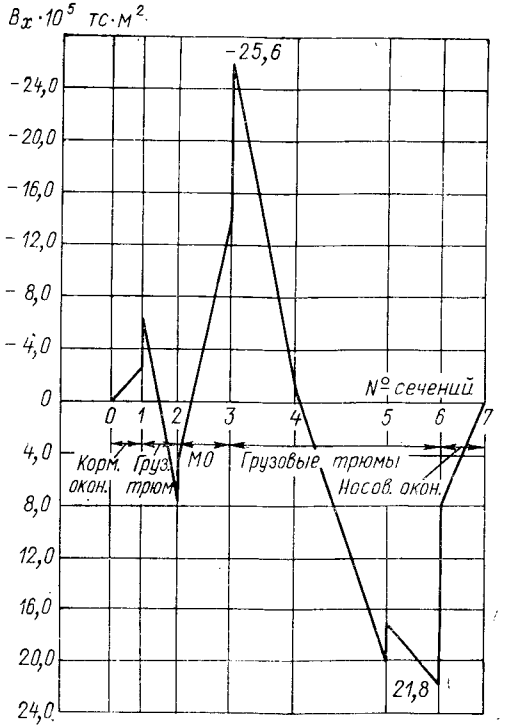


Рис. 4. Эпюра бимоментов при расположении МО между грузовыми трюмами

Таблица 3

Отсек	Номер точек	$EI\overset{0}{\omega}$, т·м⁴	$\varphi'' \cdot 10^7$	$\frac{m}{GI_p} \cdot 10^7$	$\left(\varphi'' + \frac{m}{GI_p}\right) \cdot 10^7$	$B_\omega = EI\overset{0}{\omega}\left(\varphi'' + \frac{m}{GI_p}\right)$
Вариант 1 (МО в корме)						
0—1	0	$0{,}2 \cdot 10^{12}$	—1,25	1,25	0	0
	1—		—2,82		—2,57	$-0{,}51 \cdot 10^5$
1—2	1+	$0{,}6 \cdot 10^{12}$	—1,7	0,8	—0,90	$-0{,}54 \cdot 10^5$
	2—		—22,2		—21,4	$-12{,}8 \cdot 10^5$
2—3	2+	$1{,}43 \cdot 10^{12}$	—14,4	0,55	—13,9	$-20{,}0 \cdot 10^5$
	3—		—9,3		—8,8	$-12{,}6 \cdot 10^5$
3—4	3+	$2{,}0 \cdot 10^{12}$	—7,35	—	—7,35	$-14{,}7 \cdot 10^5$
	4—		+2,38		2,38	$4{,}76 \cdot 10^5$
4—5	4+	$2{,}0 \cdot 10^{12}$	2,38	—	2,38	$4{,}76 \cdot 10^5$
	5—		11,3		11,3	$22{,}6 \cdot 10^5$
5—6	5+	$1{,}43 \cdot 10^{12}$	13,9	—0,55	13,4	$19{,}2 \cdot 10^5$
	6—		16,9		16,4	$23{,}5 \cdot 10^5$
6—7	7	$0{,}2 \cdot 10^{12}$	44,9	—1,25	43,7	$8{,}74 \cdot 10^5$
			+1,25		0	0
Вариант 2 (МО между грузовыми трюмами)						
0—1	0	0,2	—1,25	1,25	0	0
	1—		—13,3		—12,05	$-2{,}41 \cdot 10^5$
1—2	1+	1,43	—5,06	0,55	—4,50	$-6{,}4 \cdot 10^5$
	2—		4,84		5,40	$7{,}7 \cdot 10^5$
2—3	2+	0,6	7,5	0,8	8,3	$5{,}0 \cdot 10^5$
	3—		—24,07		—23,3	$-13{,}9 \cdot 10^5$
3—4	3+	2,0	—12,8	—	—12,8	$-25{,}6 \cdot 10^5$
	4—		—0,38		—0,38	$-0{,}76 \cdot 10^5$
4—5	4+	2,0	—0,38	—	—0,38	$-0{,}76 \cdot 10^5$
	5—		10,02		10,02	$20{,}04 \cdot 10^5$
5—6	5+	1,43	12,4	0,55	11,9	$17{,}0 \cdot 10^5$
	6—		15,8		15,3	$21{,}8 \cdot 10^5$
6—7		0,2	42,07	—1,25	40,8	$8{,}16 \cdot 10^5$
	7		1,25		0	0

При вычислении силовых и кинематических параметров стесненного кручения принимаем среднее взвешенное значение α_i (по данным табл. 1 в пределах открытой части судна)

$$\alpha_{ср} = \frac{80 \cdot 1{,}92 \cdot 10^{-2} + 1{,}41 \cdot 10^{-2} \cdot 120}{200} = 1{,}62 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1}.$$

Значения бимомента $B(0)$ в опорном сечении и угол поворота определяется по формулам разд. 3 в предположении полного стеснения сечений в местах сопряжения открытых и закрытых частей корпуса:

$$B(0) = \frac{M_{max}}{\alpha}\left\{\frac{2a}{L} \cdot \frac{(1 - \operatorname{ch} \alpha l)}{\operatorname{sh} \alpha l} - \frac{2}{\alpha L} \cdot \frac{(\operatorname{sh} \alpha l - \alpha l)}{\operatorname{sh} \alpha l} + \right.$$

$$\left. + \frac{4}{\alpha L}\left[\frac{\operatorname{sh} \alpha (x - a_1) - \alpha (x - a_1)}{\operatorname{sh} \alpha l}\right]\right\};$$

$$B(0) = 29{,}6 \cdot 10^5 \text{ тс} \cdot \text{м}^2;$$

$$\varphi(x) = \frac{B(0)}{GI_к}(1 - \operatorname{ch} \alpha x) - \frac{M_{max}}{\alpha GI_к}\left\{\frac{2a}{L}(\operatorname{sh} \alpha x - \alpha x) - \right.$$

$$\left. - \frac{2}{\alpha L}\left[1 - \operatorname{ch} \alpha x + \frac{(\alpha x)^2}{2}\right] + \frac{4}{\alpha L}\left[1 - \operatorname{ch} (x - a_1) + \frac{\alpha^2 (x - a_1)^2}{2}\right]\right\}.$$

Значение $I_к$ принимается также средневзвешенным:

$$I_к = \frac{80 \cdot 65 + 120 \cdot 50}{200} = 56{,}0;$$

$$GI_к = 4{,}5 \cdot 10^8 \text{ тс} \cdot \text{м}^2.$$

Используя эти данные, получим $\varphi_{max} = 1{,}3 \cdot 10^{-2} = 44{,}51'$, что полностью совпадает с так называемым уточненным расчетом (рис. 2).

Значение бимомента по абсолютной величине при традиционном методе расчета превышает полученные при рассмотрении варианта 1 примерно на 30% (см. табл. 3).

По-видимому, до выполнения серии расчетов и проведения соответствующих сопоставлений преждевременно делать обобщающие выводы о нецелесообразности использования уточненных расчетных зависимостей.

Таким образом, применение приведенного алгоритма позволяет учитывать переменность изгибно-крутильной характеристики по длине судна и может быть рекомендовано во всех тех случаях, когда полученные по традиционному методу расчетные данные окажутся на пределе допустимых норм и когда в связи с этим возникает необходимость в их уточнении.

Предложенный метод позволяет производить разделение отсеков судна на любое число участков, в пределах каждого из которых $\alpha = \text{const}$ больше, чем это выполнено в настоящих примерах.

УДК 629.12 : 539.4

МЕТОДИКА УЧЕТА НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ КОМИНГСОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ КОРПУСА

Настоящая методика предназначается для определения степени эффективности непрерывных продольных комингсов, расположенных не над продольными переборками (см. п. 1.5.1 ч. II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов).

Непрерывные продольные комингсы, расположенные не над продольными переборками или вторыми бортами, рассматри-

ваются как частично эффективные. Их площадь может быть учтена при определении момента сопротивления поперечного сечения корпуса с помощью коэффициента ψ, вычисляемого по формуле:

$$\psi = \varkappa \frac{1 - \frac{S_к}{S_0}\alpha}{1 - \varkappa \frac{S_к}{S_0}\alpha}, \qquad (1)$$

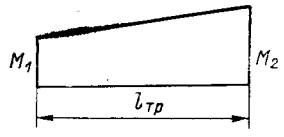
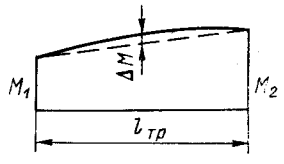
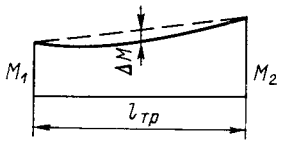
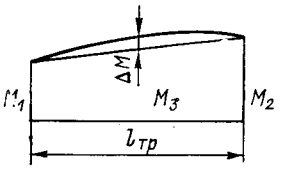
где

$$\alpha = \frac{\zeta}{c_1} + \frac{S_0}{I_0}\zeta^2;$$

$$\varkappa = \frac{1}{1 + \frac{S_к l_{тр}^2}{I}(\bar{A}_н + \bar{A}_к)} \cdot \bar{m},$$

а $\bar{m} = \frac{1}{l_{тр}} \int_0^{l_{тр}} \frac{M(x)}{M_{max}} dx$ — относительное среднее значение изгибающего момента, рассматриваемого в пределах трюма; для некоторых характерных кривых это значение можно вычислить при помощи таблицы;

$S_к$ — площадь поперечного сечения комингса — карлингса, см^2; S_0 — площадь поперечного сечения корпуса с полностью включенным комингсом, см^2; ζ — расстояние нейтральной оси попе-

Форма эпюры	Кривые изменения изгибающего момента по длине трюма	$\bar{m}$
Линейная		$\frac{1}{2}\left(1 + \frac{M_1}{M_2}\right)$
Параболическая		$\frac{1}{3}\left(2 + \frac{M_1}{M_2}\right)$
		$\frac{1}{3}\left(1 + \frac{2M_1}{M_2}\right)$
		$\frac{1}{6}\left(4 + \frac{M_1 + M_2}{M_3}\right)$

речного сечения корпуса с полностью включенным комингсом до нейтральной оси сечения комингса, м; I_0 — момент инерции поперечного сечения корпуса с полностью включенным комингсом, м^2·см^2; c_1 — расстояние верхней палубы от нейтральной оси поперечного сечения корпуса, измеряемое у борта, м; $M(x)$ — кривая расчетного момента изгиба корпуса судна по длине трюма; M_{max} — максимальный изгибающий момент, действующий посередине трюма, находящегося в районе расчетного изгибающего момента, т·м;

$$\frac{1}{\bar{A}_н} = \frac{n}{\bar{A}} + \frac{1}{\bar{\alpha}_{ср}}; \quad \frac{1}{\bar{A}_к} = \frac{m}{\bar{A}} + \frac{1}{\alpha_{ср}};$$

m и n — число поперечных переборок, расположенных в носу и в корме от рассматриваемого трюма, соответственно;

$$\bar{\alpha}_{ср} = 0{,}5 \cdot 10^{-4} \frac{S'_к}{S''_к},$$

$S'_к$ — площадь комингса — карлингса вне района грузовых люков; $S''_к$ — площадь комингса — карлингса в районе грузовых люков;

$$\bar{A} = \frac{\bar{A}_п}{1 + k_c},$$

$$\bar{A}_п = \frac{1}{12}\left(\frac{c}{l_{тр}}\right)^3 \left[\frac{2b - c}{c}\left(3 + \frac{I}{I_c}\frac{l_{тр}}{c}\right) - 2\right],$$

где I и I_c — моменты инерции соответственно поперечного сечения перемычки и палубного стрингера вместе с присоединенными поясками борта и продольного комингса — карлингса, рассчитанные относительно вертикальной оси, см^4; $l_{тр}$ — длина трюма, см; c — расстояние от борта до продольного комингса, см; b — расстояние ЦТ палубного стрингера до ДП, см; k_c — для поперечной переборки без доковой стойки равен 0,5; с доковой стойкой — 1,0, для двойной поперечной переборки — 2,0.

Площадь входящих в состав палубного стрингера непрерывных продольных комингсов, расположенных не над продольными переборками (вторыми бортами) и работающих так же, как частично эффективные, в эквивалентное сечение может быть включена при помощи коэффициента ψ, определяемого по формуле (1), где

$$\varkappa = \overline{m}(1 + \Delta\varkappa);$$

$$\Delta\varkappa = 25{,}6 \frac{b_1}{l_{тр} s}(S_п + 2S_{к1}) \frac{\Delta M}{M_{max}},$$

ΔM — максимальное отклонение изгибающего момента по длине трюма от прямой линии при вогнутой форме эпюры изгибающего момента (см. таблицу); s — толщина палубного настила, см; b_1 — ширина палубного стрингера, см; $S_п$ — площадь сечения настила и продольного набора палубы между бортом и комингсом, см; $S_{к1}$ — площадь поперечного сечения комингса — карлингса без присоединенного пояска, см^2.

УДК 629. 12 : 532.322

ПРИНЦИПЫ, ПОЛОЖЕННЫЕ В ОСНОВУ ТРЕБОВАНИЙ К ДЕЛЕНИЮ МОРСКИХ СУДОВ НА ОТСЕКИ

Используемые ранее основные критерии общей оценки непотопляемости (стандарт отсечности или фактор деления[1]) не в полной мере отражают уровень безопасности поврежденного судна, так как при одном и том же значении любого из этих критериев вероятность непотопления различных судов может существенно различаться.

Для примера сравним два судна с одинаковой подводной частью, имеющие одноотсечный стандарт непотопляемости, но разную высоту надводного борта. При этом судно с большей высотой надводного борта будет иметь значительно меньше поперечных водонепроницаемых переборок и, что очевидно, реже может получить пробоину в районе переборки, т. е. для такого судна менее вероятно двухотсечное затопление. Таким образом, при одноотсечном стандарте непотопляемости более высокобортное судно с меньшим числом переборок более безопасно при получении повреждений.

Следует также иметь в виду и условность понятия «одноотсечный стандарт непотопляемости». В реальных условиях судно, непотопляемость которого при повреждении одного любого отсека обеспечена в соответствии с требованиями Правил, может затонуть при получении пробоины, не захватывающей ни одну из поперечных водонепроницаемых переборок, из-за того, что действительный коэффициент проницаемости оказался выше расчетного, регламентируемого Правилами, или в момент аварии было сильное волнение. В некоторых случаях судно, имеющее одноотсечный стандарт непотопляемости, выдерживает затопление двух смежных отсеков

[1] Фактор деления — отношение длины отсека к длине условного отсека, середина которого совпадает с серединой данного отсека и при затоплении которого аварийная ватерлиния касается предельной линии погружения. Длина такого условного отсека называется предельной длиной затопления. Фактор деления для данного судна принимается равным максимальному значению из всех значений фактора для каждого из отсеков.

вследствие стечения ряда благоприятных обстоятельств: незначительной загрузки, получения пробоины в носовой части при исходном дифференте на корму, спокойном море и пр. Таким образом, стандарт отсечности на практике является весьма условной характеристикой степени обеспечения непотопляемости.

Поскольку практически невозможно обеспечить абсолютную непотопляемость, судно не может быть сохранено при получении любой пробоины. Исход аварии для поврежденного судна зависит от многих случайных факторов: размера и места пробоины, состояния нагрузки в момент получения повреждения, интенсивности волнения и силы ветра в момент аварии. Следовательно, наиболее объективной характеристикой уровня обеспечения непотопляемости судна является вероятность его сохранения после получения пробоины. Поэтому в новых Правилах основным критерием уровня обеспечения непотопляемости принят индекс деления на отсеки, который является сопоставительной оценкой вероятности сохранения судна при получении одной пробоины.

Правила деления содержат два основных требования:

— вероятностный индекс A деления судна на отсеки должен быть не менее требуемого индекса R, ($A \geqslant R$);

— должна быть обеспечена удовлетворительная аварийная посадка и остойчивость при затоплении заданного числа смежных отсеков (одного любого или любых двух смежных, в первом случае при получении расчетной пробоины, не затрагивающей поперечных водонепроницаемых переборок, во втором — при получении расчетной пробоины в любом районе борта судна).

Второе требование является традиционным: оно содержится во всех конвенциях по охране человеческой жизни на море (начиная с 1929 г.) и Правилах Регистра СССР (начиная с 1960 г.).

В Правила Регистра включены и новые международные требования к подразделению пассажирских судов, которые вошли в силу в 1973 г. и разработаны также на базе вероятностного подхода. Следует упомянуть, что Международная конференция по охране человеческой жизни на море 1974 г. приняла новые Правила деления в качестве эквивалентных (равноценной замены) конвенционным Правилам, использующим в качестве основного критерия непотопляемости фактор деления на отсеки.

Индекс деления A определяется по формуле полной вероятности:

$$A = \sum WS,$$

где W — вероятность затопления отсека или группы смежных отсеков; S — вероятность сохранения судна при затоплении того же отсека или, соответственно, той же группы смежных отсеков.

Суммирование в формуле ведется по номерам всех отсеков и групп смежных отсеков.

Ввиду того, что индекс A является расчетной вероятностью сохранения судна при условии получения им пробоины, $\sum W = 1$.

Поскольку для групп четырех и более смежных отсеков вели-

чина WS практически всегда равна нулю, формула для определения индекса A будет:

$$A = \sum_{i=1}^{n} W_i S_i + \sum_{i=1}^{n-1} W_{i,\,i+1} S_{i,\,i+1} + \sum_{i=1}^{n-2} W_{i,\,i+1,\,i+2} S_{i,\,i+1,\,i+2}.$$

Здесь W_i ($W_{i,\,i+1} W_{i,\,i+1,\,i+2}$) — вероятность затопления при получении одной пробоины соответственно i-го отсека (пары i-го и $i+1$-го смежных отсеков, тройки i-го, $i+1$-го и $i+2$-го смежных отсеков); S_i ($S_{i,\,i+1}$, $S_{i,\,i+1,\,i+2}$) — вероятность сохранения судна при затоплении соответственно i-го отсека (i-го и $i+1$-го отсеков, i-го, $i+1$-го и $i+2$-го отсеков); n — число отсеков судна [1].

Благодаря тому, что на величину A влияют вероятности повреждения каждого из отсеков и каждой группы смежных отсеков и вероятности сохранения судна при затоплении также каждого из отсеков и групп смежных отсеков, вероятность A является обобщенной, интегральной характеристикой степени обеспечения непотопляемости.

При выводе формул для определения вероятностей W и S использовались результаты теоретических работ, статистические данные по элементам повреждений, загрузки судов различных типов, параметрам гидрометеорологических условий во время аварий, а также данные модельных экспериментов поведения поврежденных судов с затопленными отсеками на волнении.

Расчетные зависимости для определения вероятности повреждения отсека или группы смежных отсеков учитывают: длину отсека; расположение его по длине судна; наличие уступов переборок, ограничивающих отсек; закон распределения протяженности пробоин протаранненных судов и влияние на него длины, спецификационной скорости и типа судна (транспортное или промысловое); закон распределения относительной абсциссы середины пробоины.

При наличии продольного подразделения (двойные борта, водонепроницаемые продольные переборки и пр.) дополнительно учитываются случаи затопления бортовых отсеков и, отдельно, совместного затопления бортовых отсеков и центрального. При этом вероятность неповреждения продольной переборки r (и соответственно, ее повреждения $1-r$) определяется в Правилах по формулам, выведенным на основе статистических данных о совместном законе распределения глубины и протяженности пробоины.

Для трех групп судов: пассажирских; непассажирских, кроме наливных (сухогрузных, промыслового флота, буксиров, ледоколов, накатных, спасательных и плавучих маяков); танкеров — приняты различные процедуры вычисления вероятностей S.

Для пассажирских судов в начале для трех j-х зафиксированных осадок неповрежденного судна, каждая из которых характеризует j-ую часть диапазона возможных эксплуатационных осадок,

---

[1] В Правилах вероятность W вычисляется как произведение ap, вероятность S равна s для пассажирских судов и танкеров и произведению cs — для остальных типов судов.

определяются вероятности s_j сохранения судна при затоплении каждого отсека и групп смежных отсеков.

Вероятность s_j вычисляется, исходя из результатов расчета аварийной посадки и начальной остойчивости при затоплении рассматриваемого отсека при j-й исходной осадке.

В расчете принимается предельно допустимое возвышение центра тяжести для j-й осадки [1], расчетный коэффициент проницаемости грузовых помещений принимается среднестатистическим при той же осадке. Зависимость расчетного коэффициента проницаемости грузовых помещений от исходной осадки определена на основе статистических данных об эксплуатации пассажирских и грузопассажирских судов. Поскольку на современных пассажирских судах (включая и грузопассажирские) объем грузовых помещений относительно невелик, погрешность вычисления индекса A, связанная с заменой закона распределения коэффициента проницаемости грузовых трюмов его средним значением, незначительна.

Зависимость вероятности s_j от произведения остающегося надводного борта и аварийной метацентрической высоты определена с учетом закона распределения интенсивности волнения при столкновениях судов. Следует отметить, что бóльшую часть повреждений суда получают в прибрежных зонах: в узкостях и на подходах к портам, т. е. в районах, где, как правило, интенсивность волнения незначительна. Этим объясняется, что вероятность s_j становится близкой или равной единице даже при сравнительно малых значениях произведения надводного борта и аварийной метацентрической высоты.

Вероятность s_i при затоплении i-го отсека пассажирского судна вычисляется по формуле полной вероятности $s = \sum u_j \cdot s_j$, где u_j — относительная частота плавания судна в j-м диапазоне эксплуатационных осадок.

Расчетные вероятности s_j определяются применительно к наиболее неблагоприятному положению пробоины по высоте в рассматриваемом районе затопления. Из-за последнего обстоятельства, а главное из-за того, что величины s_j определяются при максимально допустимом возвышении центра тяжести KG_j, индекс деления A оказывается заметно меньше действительной вероятности сохранения поврежденного пассажирского судна.

Для непассажирских судов, кроме танкеров, вероятность их непотопления s определяется с учетом:

— отношения длины отсека l_s к предельной длине затопления l_f (см. примечание на стр. 81);

— отношения высоты борта D к осадке деления на отсеки d_s (учет влияния D/d_s оказался необходимым из-за того, что в качестве основного расчетного параметра, определяющего величину s принято отношение l_s/l_f, а при $l_s/l_f = \text{const}$ остающийся относи-

[1] При предельно допустимом возвышении ЦТ должны выполняться требования к аварийной остойчивости в случае затопления заданного числа отсеков и требования к остойчивости неповрежденного судна, а также условие $A \geqslant R$.

тельный надводный борт оказывается разным у судов с различным отношением D/d_s при $d<d_s$);

— совместного закона распределения осадки и коэффициента проницаемости грузовых трюмов и влияния на него типа судна и коэффициента утилизации водоизмещения по дедвейту DW/Δ, от которого зависит диапазон изменения осадки (для добывающих промысловых судов дополнительно учитывается влияние длины судна, а для транспортных рефрижераторов относительный спецификационный дедвейт при выходе в рейс);

— закона распределения интенсивности волнения при столкновениях судов.

Поскольку для грузовых трюмов коэффициент проницаемости является величиной случайной, а для других отсеков практически постоянной, получены две группы формул. Первая группа позволяет определять вероятность s_c непотопления судна при затоплении грузового трюма, вторая — вероятность s_m при затоплении отсеков с постоянным коэффициентом проницаемости.

Для отдельных отсеков или групп смежных отсеков, содержащих как грузовой трюм, так и помещения с постоянной проницаемостью, вероятность s определяется с помощью интерполяции между s_c и s_m в зависимости от отношения объема грузового трюма к общему объему отсека или отсеков.

Учитывая специфику эксплуатации буксиров, ледоколов, спасательных судов и плавучих маяков, формула для определения вероятности s для этих судов выведена в предположении, что осадка судна равномерно распределена на участке, соответствующем загрузке топливом, водой и прочими грузами, суммарная масса которых находится в пределах от 15% дедвейта до полного. Из-за отсутствия статистических данных по загрузке накатных судов (типа «ро-ро»), вероятности s для этих судов вычисляются в предположении, что коэффициент проницаемости грузовых помещений постоянен и равен расчетному, а осадка судна распределена равномерно на участке, соответствующем загрузке от полного груза плюс 15% спецификационных запасов топлива, воды и масла до полного груза плюс полные спецификационные запасы.

Влияние аварийной остойчивости на вероятность сохранения непассажирского судна условно учитывается введением коэффициента c, на который умножается величина s. Коэффициент c принимается равным единице, если при повреждении рассматриваемого отсека или группы смежных отсеков выполняются требования к аварийной остойчивости, сформулированные в разд. 3 Правил. Соответственно при невыполнении требований к аварийной остойчивости $c = 0{,}7$.

Для танкеров, половина ходового времени которых приходится на балластные пробеги, принят следующий подход к вычислению вероятностей s. Если при затоплении отсека (или группы смежных отсеков) выполняются требования к аварийной посадке и остойчивости, сформулированные в части Правил, касающейся стандарта отсечности, при ходе судна и с грузом и с балластом, вероятность

s для данного отсека (или группы смежных отсеков) принимается равной 1. Если эти требования выполняются либо в грузу, либо в балласте, то соответственно вероятность s принимается равной 0,5. Когда же эти требования не выполняются ни в грузу, ни в балласте, то $s = 0$. Аналогичный подход можно применять к судам, эксплуатирующимся при одном или нескольких характерных состояниях, в каждом из которых нагрузка изменяется незначительно.

Согласно Правилам, индекс деления A должен быть не меньше требуемого индекса R. В качестве параметра, определяющего индекс R, выбрана величина $L_s+(N/4)$ (L_s — максимальная длина судна на уровне или ниже палубы переборок, N — общее число людей, включая членов экипажа, предусмотренных для нахождения на борту судна в рейсе). С увеличением параметра $L_s+(N/4)$ величина требуемого индекса R возрастает, поскольку с увеличением длины увеличивается и стоимость судна и проще обеспечивать непотопляемость, а с увеличением N необходимо ужесточать требования к безопасности плавания.

Для пассажирских судов, у которых часть пассажиров и экипажа не обеспечена местами в спасательных шлюпках, требования к непотопляемости повышены. В этом случае требуемый индекс R вычисляется при N, равном числу людей, для которых имеются места в шлюпках, плюс удвоенное число остальных людей.

Зависимости $R = f(L_s+(N/4))$ для различных типов судов определены по результатам расчетов индекса A для ряда существующих судов.

Из-за того, что расчетные зависимости для определения вероятностей W и S, а следовательно и индекса A, для разных типов судов различны, зависимости $R = f(L_s+(N/4))$ приняты также различными. Следует отметить, что примерно половина пассажирских судов, для которых был вычислен индекс деления A и которые отвечают старым требованиям к непотопляемости, не удовлетворяют требованиям новых Правил.

Для непассажирских судов зависимости для определения индекса R пока приняты такими, что почти все суда, удовлетворяющие обычным требованиям к непотопляемости, отвечают и требованиям новых Правил.

Новые Правила стимулируют повышение фактического уровня обеспечения непотопляемости, дают возможность численно оценивать эффективность различных мероприятий, связанных с непотопляемостью судна, и во многих случаях позволяют более свободно расставлять водонепроницаемые переборки.

Из-за отсутствия некоторых статистических данных, неполного учета аварийной остойчивости, недостаточной изученности вопросов поведения поврежденного судна на волнении, погрешностей, связанных с аппроксимацией при выводе формул, расчетные значения вероятностей W и S могут отличаться от действительных значений соответствующих вероятностей. Несмотря на это, индекс A является достаточно надежной сопоставительной характеристи-

кой непотопляемости судов одного и того же типа, поскольку расчетная схема определения величины A учитывает большинство индивидуальных особенностей судна, влияющих на его непотопляемость.

В эквивалентных конвенционных требованиях и в новых Правилах Регистра сохранено требование к обеспечению непотопляемости при повреждении одного любого отсека или двух смежных (на всей длине судна или ее части). Это сделано для преемственности требований, упрощения сопоставления уровня обеспечения непотопляемости вновь проектируемых и построенных судов, а также для согласования результатов проверки выполнения требований с информацией об аварийной посадке и остойчивости. Следует отметить, что введение новых Правил Регистра не предполагает изменения формы и содержания информации об аварийной посадке и остойчивости.

В дальнейшем после разработки достаточно точных методов учета влияния аварийной остойчивости в расчетной схеме определения вероятностного индекса деления необходимость предъявления требований к стандарту отсечности судна отпадет.

ТОЛКОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НОВЫХ ПРАВИЛ ЧАСТИ V «ДЕЛЕНИЕ НА ОТСЕКИ»

Нумерация пунктов, глав и разделов принята согласно третьему изданию Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР, часть V «Деление на отсеки», 1977 г.[1]

1.1. Содержание главы практически осталось тем же, что и в Правилах издания 1974 г., поскольку область распространения части V Правил для всех судов, кроме накатных, не изменилась.

1.1.1 Следует иметь в виду, что длина судна L (см. 1.1.1) равна расстоянию, измеренному между перпендикулярами

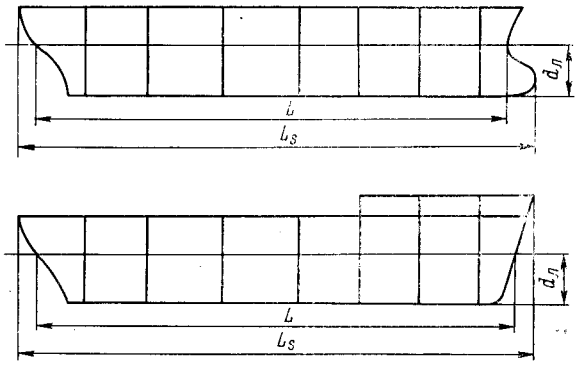


Рис. 1.1.1. Длина деления судна на отсеки L_s и длины судна L ($d_л$ — осадка по летнюю грузовую марку)

[1] В дальнейшем именуется «часть V Правил».

у крайних точек ватерлинии по летнюю грузовую марку, и что длина L меньше или равна длине деления на отсеки L_s (рис. 1.1.1).

1.1.1.3 В отличие от других грузовых судов требования к делению больших накатных судов являются обязательными, так как обычные грузовые суда и при формальном невыполнении требований к непотопляемости имеют относительно высокую вероятность сохранения при получении пробоины. Если не принимаются меры к обеспечению непотопляемости накатных судов, вероятность их сохранения в поврежденном состоянии оказывается недопустимо низкой.

1.1.2 Пункт введен потому, что положения разд. 4, содержащего требования к непотопляемости международных Правил о грузовой марке 1966 г., отличаются от положений разд. 1—3 части V Правил. Поскольку Правила о грузовой марке конвенционные, их выполнение является обязательным.

1.2 Большинство определений и пояснений, приведенных в гл. 1.2, не требует особых разъяснений. Остановимся только на тех, которые претерпели изменения или введены в Правила впервые.

1.2.5 Определение длины деления на отсеки L_s пояснено на рис. 1.1.1 и 1.2.15. При определении длины L_s не следует учитывать практически неводоизмещающие конструкции, расположенные в оконечностях судна.

1.2.6 Длина судна L (см. рис. 1.1.1) используется для определения области распространения части V Правил (п. 1.1.1) и расчетной длины пробоин непассажирских судов.

1.2.7 Определение длины судна L_1 соответствует определению длины судна, данному в Правилах о грузовой марке. Величина L_1 используется только в разд. 4 и соответственно в п. 1.1.2. Причины использования длины L_1 приведены в пояснениях к п. 1.1.2.

1.2.15 Примеры назначения расчетной палубы переборок приведены на рис. 1.2.15.

1.2.17 В качестве предельной линии погружения принята бортовая линия палубы переборок, а не параллельная палубе переборок, расположенная на 76 мм ниже ее, как было принято в части V Правил 1974 г.

Такое изменение вызвано тем, что в международных эквивалентных Правилах деления пассажирских судов на отсеки предельная линия погружения также назначается без учета надводного борта, равного 76 мм.

1.2.18 Определение расчетной высоты аварийного надводного борта пассажирского судна показано на рис. 1.2.18.

При определении величины F_1 и угла θ_f входа в воду отверстия, через которое может происходить поступление воды в неповрежденные отсеки, статический аварийный угол крена не принимается во внимание, поскольку при расчете вероятности s снижение надводного борта из-за статического крена учитывается тем,

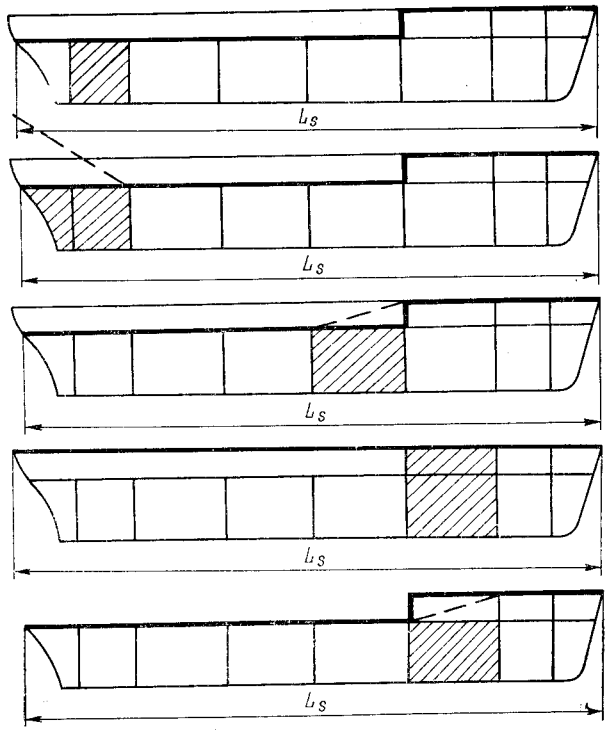


Рис. 1.2.15. Палуба переборок при затоплении заштрихованного отсека (———) и предельная линия погружения в районе, где она не совпадает с палубой переборок (— — — —)

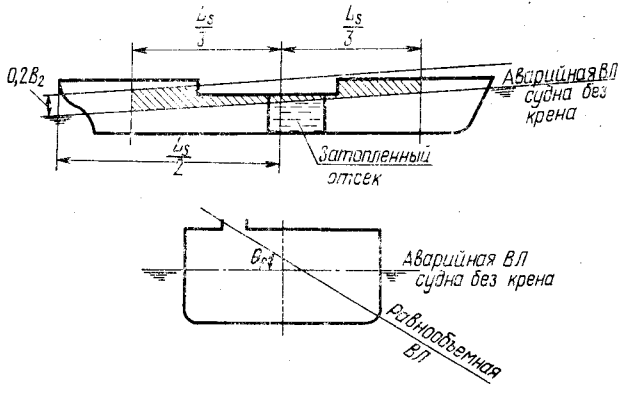


Рис. 1.2.18. Расчетный аварийный надводный борт F_1 пассажирского судна и угол θ_f входа в воду отверстия, через которое может происходить затопление неповрежденного отсека ($F_1 = \frac{П}{\frac{2}{3} L_S}$, $П$ — площадь заштрихованной фигуры)

что в формуле (2.5.4-2) из величины F_1/B_2 вычитается величина $\frac{1}{2}\operatorname{tg}\theta$.

Ввиду того, что при качке или действии дополнительных кренящих моментов вход в воду отверстий, через которые могут затапливаться неповрежденные отсеки, представляет бóльшую опасность, чем вход в воду водонепроницаемых участков палубы переборок, в качестве параметра при определении F_1 принята величина $B_2 \operatorname{tg}\theta_f/3$, а не $B_2 \operatorname{tg}\theta_f/2$, которая формально сопоставима с надводным бортом.

При практических расчетах, если величина s_j должна приниматься равной нулю по условиям, оговоренным в п. 2.5.4 (например, если аварийная метацентрическая высота $h_{ав} \leqslant 0$), то величину F_1 для рассматриваемого отсека (или группы смежных отсеков) при исходной осадке d_j можно не определять.

1.2.22 и **1.2.23** Примеры, иллюстрирующие определение ширины судна B_1 и B_2, приведены на рис. 1.2.22.



Рис. 1.2.22. Ширина судна B_1 и B_2 (сечение на середине длины судна L_s)

1.4.4 При построении диаграммы аварийной остойчивости все отверстия, имеющие штатные закрытия, непроницаемость которых достаточна с точки зрения положений 1.4.10 части IV «Остойчивость», считаются закрытыми, а сами закрытия — препятствующими распространению воды по судну при качке или действии дополнительных кратковременных кренящих моментов. Сказанное, однако, не означает, что все такого рода закрытия препятствуют распространению воды при их полном или частичном постоянном погружении ниже аварийной ватерлинии, т. е. ватерлинии поврежденного судна, определенной для тихой воды. Поэтому в 3.5.6 нормируется минимальное возвышение нижних кромок отверстий над аварийной ватерлинией.

1.4.5 Расчеты аварийной посадки и остойчивости следует выполнять в предположении, что все жидкие грузы, находящиеся в поврежденных цистернах, полностью выливаются из корпуса и замещаются забортной водой (до уровня аварийной ватерлинии, если последняя пересекает цистерну). Поэтому соответствующие расчеты производятся применительно к условному состоянию

судна без жидких грузов, замещаемых забортной водой при затоплении рассматриваемого отсека.

1.4.6 С введением новых Правил требования к форме и содержанию информации об аварийной посадке и остойчивости судна не изменились.

1.5.3, 1.5.4 и **1.5.5** Правила допускают в отдельных случаях вместо удовлетворения требования $A \geqslant R$ выполнять требования Правил деления на отсеки 1974 г.

Такое отступление введено в текст Правил по следующим причинам:

— в Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. новые требования к делению на отсеки, разработанные на базе вероятностного подхода, считаются эквивалентными старым требованиям (1960 г.), в основу которых положен фактор деления;

— некоторые типы судов (земснаряды, суда специального назначения, суда нетрадиционных типов) существенно отличаются по характеру эксплуатации, влияющей на законы распределения элементов пробоин и/или элементов загрузки, от судов, для которых приведены формулы расчета вероятностного индекса A;

— при капитальном ремонте или переоборудовании судна выполнение требований новых Правил деления на отсеки может оказаться трудным, однако снимать требования к непотопляемости нецелесообразно.

1.5.6 Положение о знаке деления на отсеки в символе класса судна остается прежним, а именно: знак присваивается, если судно удовлетворяет требованиям части V «Деления на отсеки». Знак $\boxed{1}$ означает, что аварийная остойчивость и посадка судна удовлетворяет требованиям Правил при затоплении одного любого отсека; знак $\boxed{2}$ — любых двух смежных и знак $\boxed{3}$ — любых трех смежных отсеков.

2.1.1 Определение понятия предельной длины затопления приведено на рис. 2.1.1 (см. пояснения к 1.2.17 об исключении величины 76 мм).

Для уменьшения погрешностей расчетов коэффициент проницаемости μ_f, при котором должна определяться кривая l_f, принят равным 0,8, что примерно соответствует среднему коэффициенту проницаемости всего судна.

Известно, что чем дальше отсек отстоит от мидель-шпангоута и чем больше разница между фактическим значением μ_p и значением μ_f, при котором рассчитывалась предельная длина l_f, тем больше погрешность используемой в расчетах зависимости $\mu_p l_{pf} = \mu_f l_f$, где l_{pf} — предельная длина затопления, определенная при μ_p.

2.1.2 и **2.1.3** На рис. 1.2.15 приведены положения предельных линий погружения, которые следует принимать при наличии уступов палубы переборок по длине судна, а также при использовании

условия о допущении вхождения предельной линии погружения в воду в районе затопления.

2.1.4 Практический способ построения кривой предельных длин отсеков приведен в учебнике В. В. Семенова-Тян-Шанского «Статика и динамика корабля» (изд. 1973 г.). Учет расчетного знания $\mu_f = 0{,}8$ следует производить увеличением предельных объемов отсеков в 1,25 раза по сравнению с определенным при $\mu = 1{,}0$. Рекомендуется производить проверку двух-трех точек кривой предельных длин отсеков с помощью контрольных расчетов положения аварийной ватерлинии при затоплении отсека предельной

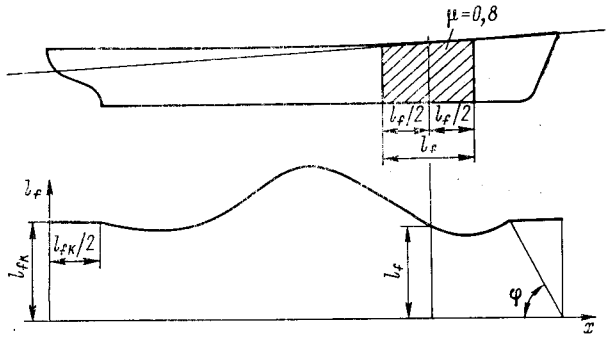


Рис. 2.1.1. Кривая предельных длин затопления l_f ($l_{fк}$ — предельная длина концевого отсека $\varphi = \operatorname{arctg} 2$, если масштабы величин l_f и x совпадают)

длины с помощью удифферентовки по масштабу Бонжана (на ЭВМ или вручную).

Наиболее простым, но приближенным способом контроля правильности построения кривой l_f является сравнение значения $l_{f\,\max}$ с рассчитанной по формуле $l_{f\,\max} \approx \dfrac{V_D - V_0}{0{,}8\beta BD}$, где V_0 — объемное водоизмещение судна при исходной осадке деления на отсеки d_s неповрежденного судна; V_D — объемное водоизмещение неповрежденного судна при осадке на ровный киль, равной высоте борта D; β — коэффициент полноты мидель-шпангоута при $d = D$ (можно принять и при $d = d_s$); B — ширина судна при $d = D$.

Эта формула получена исходя из предположения, что при затоплении отсека, соответствующего $l_{f\,\max}$, судно погружается без дифферента.

Для районов, расположенных в оконечностях судна, предельную длину затопления следует считать равной предельной длине затопления концевого отсека (см. рис. 2.1.1).

2.2.1.1 Коэффициент проницаемости помещений, занятых механизмами, электростанциями и технологическим оборудованием назначен равным 0,85 на основе результатов детальных расчетов проницаемости помещений на судах различных типов. Расчеты

показали, что фактически этот коэффициент проницаемости может принимать значение 0,75—0,95. Последнее явилось одной из причин внесения в Правила пп. 2.2.3 и 2.2.4.

2.2.1.2 Для обычных грузовых помещений расчетный коэффициент проницаемости принят равным 0,6, т. е. примерно средней величине проницаемости при эксплуатации.

Закон распределения коэффициента проницаемости $\mu_{тр}$ грузового трюма при различных осадках учтен при выводе расчетных формул для определения вероятностей s_c.

Поскольку в отсеке или группе смежных отсеков помимо грузовых трюмов имеются и другие помещения, в расчетах необходимо учитывать удельные объемы различных помещений и их коэффициенты непроницаемости.

Для учета грузовых помещений в отсеке целесообразно пользоваться средним значением коэффициента проницаемости таких помещений. Поэтому в Правила введены расчетные коэффициенты проницаемости грузовых помещений (наряду с учетом закона распределения величины $\mu_{тр}$).

Так как формулы для определения величин s_c выведены применительно к расчетному коэффициенту проницаемости грузового трюма $\mu_{тр} = 0{,}6$, его изменять нельзя без изменения формул для расчета s_c.

Для помещений, занятых жидкими грузами (судовыми запасами) в качестве расчетного коэффициента проницаемости при определении вероятностей s принято также значение, равное 0,6.

Для цистерн судовых запасов эта величина примерно соответствует среднему значению коэффициента проницаемости в течение рейса (коэффициент проницаемости порожней цистерны равен 0,98, а полной 0,2—0,3).

Таким образом, при определении величин s вместо закона распределения коэффициента проницаемости цистерн судовых запасов используется среднее значение проницаемости.

Для пассажирских судов и грузовых танков наливных судов, для которых величины вероятностей s при расчете индекса деления A определяются по результатам обычных расчетов аварийной посадки и остойчивости (см. 2.5.10), в расчетах следует использовать указания 1.4.5.

Для судов, перевозящих грузы в баржах (лихтерах), в качестве грузового помещения, для которого расчетное значение $\mu = 0{,}6$, следует считать грузовое помещение баржи, а не все грузовое помещение судна — носителя. Данное обстоятельство следует иметь в виду при выполнении расчетов в соответствии с 2.2.3 и 2.2.4.

2.2.1.3 Расчеты коэффициента проницаемости помещений при их загрузке порожней колесной техникой и жилых помещений показали, что величина μ для них оказалась примерно одинаковой и равной 0,95. Эта величина и приведена в Правилах.

Значение $\mu = 0{,}95$ используется и для помещений, обычно не занятых существенным количеством грузов.

Для всех помещений, упомянутых в 2.2.1.3, можно определять коэффициент проницаемости расчетным путем в соответствии с 2.2.3.

2.2.1.4 По результатам соответствующих расчетов коэффициент проницаемости порожних цистерн принят равным 0,98.

При расчете индекса A коэффициент проницаемости цистерн, которые при эксплуатации остаются порожними или предназначены только для временного приема балласта, следует принимать равным 0,98. Если необходимо путем балластировки понизить ЦТ во всех эксплуатационных случаях нагрузки, то следует, как правило, использовать не жидкий, а твердый балласт, иными словами, не следует иметь на судне цистерны, которые постоянно забалластированы забортной водой. В случаях, когда предусматривается постоянное заполнение цистерны какой-либо жидкостью, можно выполнить специальный расчет проницаемости, в соответствии с 2.2.3 и с учетом указаний 1.4.5.

2.2.1.5 Для грузовых помещений накатных судов (судов типа «ро-ро») в случае перевозки грузов на колесной технике коэффициент проницаемости принят равным 0,8, по данным ИМКО.

2.2.2 Для пассажирских судов величина s определяется по результатам расчетов аварийной посадки и остойчивости при повреждении рассматриваемого отсека или группы смежных отсеков при трех определенным образом зафиксированных случаях нагрузки (см. 2.5.4).

Поэтому для каждого случая нагрузки необходимо определить расчетный коэффициент проницаемости грузовых трюмов.

На основе статистических данных о зависимости коэффициента проницаемости грузового трюма от относительной осадки для пассажирских судов определена расчетная зависимость $\mu_{тр}$ от d (в символах 2.2.2 μ_j от d_j), заменяющая закон распределения величины $\mu_{тр}$ при заданной осадке.

Формула (2.2.2) отражает отрицательную корреляцию величин $\mu_{тр}$ и d: в среднем при большей осадке коэффициент проницаемости трюма меньше благодаря тому, что большей осадке соответствует, как правило, и бóльшая загрузка трюмов.

Согласно формуле (2.2.2) при наименьшей эксплуатационной осадке d_0 $\mu_{тр} = 0{,}95$, а при наибольшей осадке (осадке деления на отсеки d_s) $\mu_{тр} \simeq 0{,}6$.

2.2.3 См. пояснения к 2.2.1.1 и 2.2.1.2.

Согласно данным, представленным США в ИМКО, коэффициент проницаемости грузов в контейнерах в среднем оказался выше, чем в грузовых трюмах примерно на 0,05. Поэтому для контейнеров расчетный коэффициент проницаемости принят равным 0,65.

2.2.4 Более высокие коэффициенты проницаемости, чем указанные в 2.2.1 и 2.2.2, следует принимать для помещений МО, завода и т. п., если в них механизмы и оборудование занимают относительно малые объемы, а также для грузовых трюмов, предназна-

ченных для постоянной транспортировки барж или тяжелых грузов с малой удельной кубатурой, и в других подобных случаях.

2.3.1.1 При разработке новых международных Правил деления пассажирских судов была выбрана следующая структура формулы для требуемого индекса деления:

$$R = 1 - \frac{C_1}{L_s + \frac{N}{4} + C_2},$$

где N — общее число людей на борту судна в рейсе, если все они обеспечены местами в спасательных шлюпках.

Из приведенной выше формулы следует, что с увеличением величин L_s и/или N величина R также увеличивается, т. е. требования к степени обеспечения непотопляемости ужесточаются.

Численные значения коэффициентов $C_1 = 250$ и $C_2 = 375$ в формуле были подобраны таким образом, чтобы примерно половина из рассмотренных в ходе подготовки Правил пассажирских судов, удовлетворяющих требованиям деления на отсеки Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1960 г., удовлетворяли бы и новым требованиям (т. е. для них выполнялось бы условие $A \geqslant R$).

Для пассажирских судов, у которых не все пассажиры и члены команды обеспечены местами в спасательных шлюпках, требования к непотопляемости несколько ужесточаются. А именно, для таких судов при вычислении индекса R величина N принимается равной числу людей, для которых имеются места в шлюпках, плюс удвоенное число людей, не обеспеченных местами в шлюпках (как уже отмечалось, увеличение расчетной величины N приводит к увеличению требуемого индекса деления R).

2.3.1.2—2.3.1.7 Для непассажирских судов структура формулы для определения индекса R принята той же, что и для пассажирских.

В отличие от пассажирских судов требования к делению на отсеки решено было не ужесточать, т. е. при назначении коэффициентов C_1 и C_2 исходить из условия, что практически все суда, удовлетворяющие старым Правилам деления на отсеки 1974 г., удовлетворяли бы и новым требованиям ($A \geqslant R$).

Для каждого типа судов в соответствии с принятой в Правилах процедурой был определен фактический индекс деления A для ряда судов, удовлетворяющих Правилам 1974 г. Затем были определены коэффициенты C_1 и C_2.

Следует отметить, что формально при $L_s + \frac{N}{4} = \text{const}$ значения индекса R для пассажирских судов оказываются заметно меньшими, чем для непассажирских, что, на первый взгляд, противоречит традиционному подходу, заключающемуся в обеспечении большей безопасности пассажирских судов. Однако в данном

случае сопоставление значений R для пассажирских и непассажирских судов неправомерно по следующей причине.

Для пассажирских судов индекс деления A определяется непосредственно с учетом аварийной остойчивости. При этом в расчетах принимается не закон распределения возвышения центра тяжести судна, а его наиболее высокое расположение по высоте. Поэтому практически индекс A пассажирского судна оказывается меньше вероятности сохранения поврежденного судна. Для непассажирских судов схема определения индекса A (расчет вероятностей s см. 2.5) отлична от схемы, принятой для пассажирских судов. Поэтому величины индекса A для пассажирских и непассажирских судов несопоставимы. Наиболее существенно то, что для непассажирских судов влияние аварийной остойчивости в расчетной схеме вычисления индекса A учитывается значительно слабее, чем для пассажирских.

Ввиду того что значения требуемого индекса R определены на базе результатов расчетов индекса A, различия в схемах определения величины A для пассажирских и непассажирских судов делают неправомерным сопоставление и значений индекса R для этих двух групп судов.

Для накатных судов, на которых предусматривается перевозка техники в сопровождении обслуживающего персонала, число пассажиров принимается равным $12+0{,}04\sum S$ ($\sum S$ — суммарная площадь палуб грузовых пространств для размещения техники). Эта величина принята ИМКО, исходя из статистических данных и допущения, что число сопровождающих лиц прямо пропорционально площади грузовых палуб.

2.3.2 Индекс деления A определяется по формуле полной вероятности. Этот индекс является расчетной оценкой вероятности сохранения поврежденного судна.

При определении величины A следует учитывать все отсеки, независимо от их длины, в том числе и те, которые короче расчетной протяженности повреждения, указанной в 3.2.1.

Физический смысл величин, входящих в формулу, разъяснен в 2.4.1 и 2.5.1.

2.4.2 Величина a является плотностью распределения относительной абсциссы середины пробоины $f\left(\frac{x_d}{L_s}\right)$ в точке, соответствующей середине рассматриваемого района затопления.

Плотность $f\left(\frac{x_d}{L_s}\right)$ отражает неравномерность частоты получения пробоин в разных районах длины судна. Статистика показывает, что суда чаще получают повреждения в носовой части.

Формула, аппроксимирующая функцию $f\left(\frac{x_d}{L_s}\right)$, подобрана применительно к собранным ИМКО статистическим данным об элементах пробоин (рис. 2.4.2).

2.4.3 Уступы переборок повышают вероятность повреждения переборок. Поэтому увеличивается вероятность совместного затоп-

ления смежных отсеков и соответственно уменьшается вероятность затопления единичных отсеков.

Для учета этого обстоятельства расчетная протяженность рассматриваемого поврежденного отсека принимается равной рас-

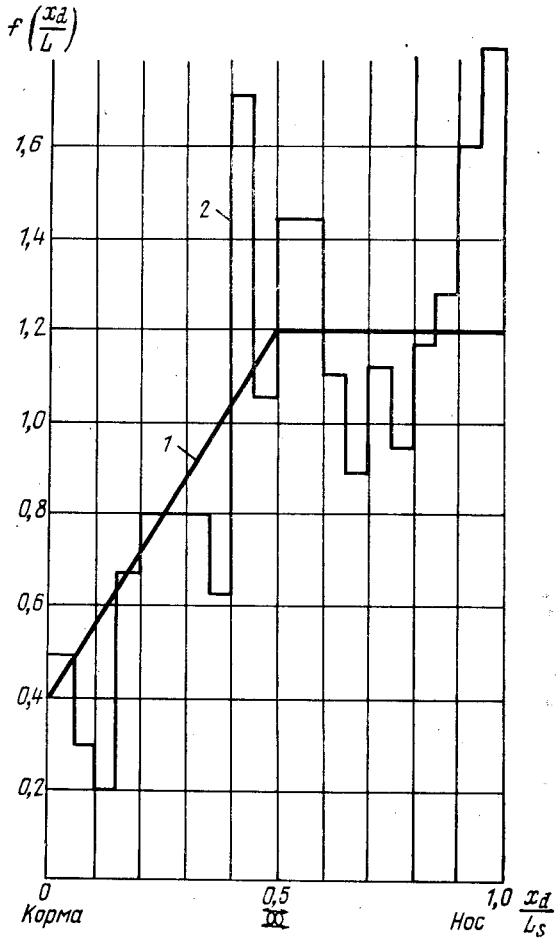


Рис. 2.4.2. Плотность распределения относительной абсциссы середины пробоины x_d/L_s:
1 — зависимость $a=f(x_d/L)$, принятая для расчетов по Правилам; *2* — гистограмма.

стоянию между ближайшими частями уступов переборок, ограничивающих данный район затопления (см. рис. 2.4.3).

2.4.4 Формулу (2.4.4-1) для определения вероятности p совместного затопления двух смежных i-го и j-го отсеков (при условии, что $a = 1$) можно пояснить следующим образом.

Пусть вероятность p_{ij} повреждения одного отсека, эквивалентного двум отсекам (i-му и j-му), т. е. при условно отсутствующей переборке между i-м и j-м отсеками, известна.

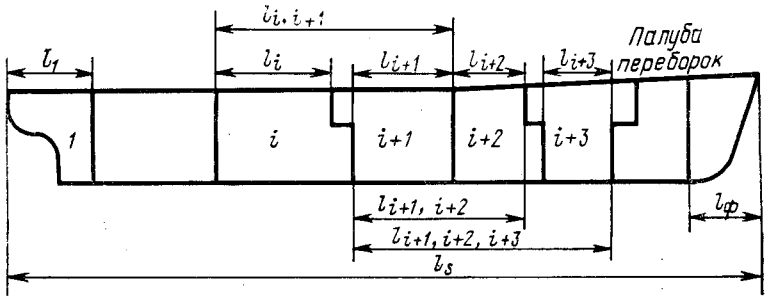


Рис. 2.4.3. Схема определения расчетных длин отсеков при вычислении величин p ($l_ф$ — длина форпика)

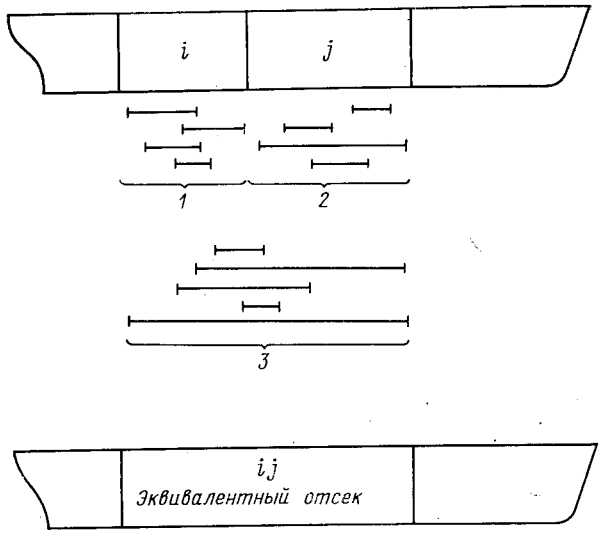


Рис. 2.4.4. Схема, поясняющая определение вероятности совместного затопления двух смежных отсеков: *1* и *2* — пробоины, приводящие к затоплению i-го (вероятность p_i) j-го отсека (вероятность p_j); *3* — пробоины, пересекающие переборку между i-м и j-м отсеками и приводящие к совместному затоплению этих отсеков (вероятность p). Любая пробоина из трех групп приводит к затоплению ij-го эквивалентного отсека (вероятность p_{ij}). Поэтому $p_{ij}=p_i+p_j+p$ или $p=p_{ij}-p_i-p_j$

Такой эквивалентный отсек будет затоплен (рис. 2.4.4), если пробоина находится в границах i-го отсека (вероятность p_i), или j-го отсека (вероятность p_j), или $i+j$-го эквивалентного отсека и одновременно захватывает разделяющую отсеки переборку (вероятность p).

Согласно теореме сложения вероятностей $p_{ij} = p_i + p_j + p$. Тогда $p = p_{ij} - p_i - p_j$.

Аналогичным образом можно получить формулы (2.4.4-2) и (2.4.4-3).

2.4.5 Исходным материалом для вывода формулы (2.4.5), определяющей вероятность p затопления отсека при $a = 1$, были статистические данные ИМКО по размерам повреждения протаранненных при столкновениях транспортных судов. Плотность распределения относительной протяженности повреждения $f(l_d/L_s)$ приведена на рис. 2.4.5.

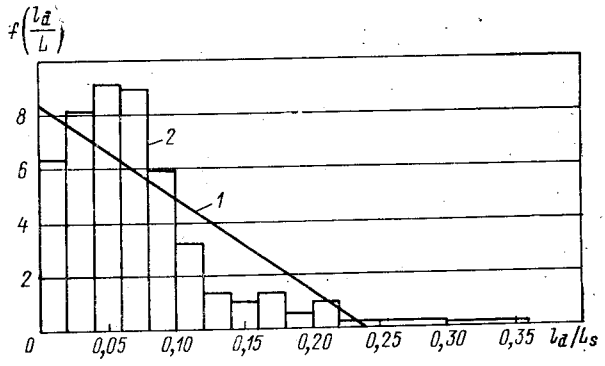


Рис. 2.4.5. Плотность распределения относительной протяженности пробоины l_d/L:

1 — плотность распределения $f\left(\frac{l_d}{L_s}\right)$, принятая в расчетах величины p для транспортных судов; *2* — гистограмма

Поскольку с ростом размеров увеличивается кинетическая энергия судна, большие суда при прочих равных условиях получают и бóльшие по размерам пробоины. Для судов длиной до 200 м принято, что протяженность повреждения прямо пропорциональна длине судна. Для судов длиной свыше 200 м формулы для расчета величины p получены в предположении, что длина пробоины не зависит от размеров судна.

Влияние скорости хода на размеры пробоины (на закон распределения величины $f(l_d/L_s)$ учитывается с помощью коэффициента k_v, формула для вычисления которого получена на основе результатов обработки статистических данных по соотношению средних размеров повреждений пассажирских (т. е. более скоростных) и непассажирских судов.

Поскольку в эквивалентных международных Правилах влияние скорости хода на величину p не учитывается, в новых требованиях Регистра коэффициент k_v для пассажирских судов принят равным единице.

2.4.6 Значительная доля пробоин судов промыслового флота связана с неудачными швартовками в море, размеры повреждения

при этом, как правило, значительно меньше, чем при столкновениях судов. Поэтому закон распределения размеров повреждений судов промыслового флота отличается от соответствующего закона распределения для транспортных судов. Этим объясняется, что формулы (2.4.6) вычисления величины p для судов промыслового флота отличаются от формул (2.4.5).

Формулы (2.4.6) выведены в предположении, что $^1/_3$ пробоин суда промыслового флота получают на переходах, а $^2/_3$ — при швартовках. Закон распределения протяженности пробоин, получаемых на переходах, аналогичен принятому для транспортных судов. Закон распределения элементов пробоин при швартовках принят по статистическим данным об авариях отечественных промысловых судов.

Влияние размеров судна промыслового флота на закон распределения протяженности пробоины учитывается с помощью коэффициента k_L, формула для определения которого получена на базе обработки статистических данных. Влияние скорости хода учитывается, как и для транспортных судов, с помощью коэффициента k_v.

2.5.1 и **2.5.2** При расчете вероятности s сохранения поврежденного пассажирского или наливного судна при затоплении отсека (или смежных отсеков) одновременно учитываются аварийная плавучесть и аварийная остойчивость. Для остальных судов величина s является вероятностью сохранения плавучести, поэтому для учета остойчивости этой группы судов введен коэффициент $c = 0{,}7$ для отсеков, при затоплении которых аварийная остойчивость обеспечена не во всех случаях нагрузки.

В расчетах, по результатам которых определяется величина c, коэффициенты проницаемости следует определять в соответствии с указаниями 3.3.

2.5.4 Расчетная вероятность s сохранения пассажирского судна при затоплении фиксированного отсека или группы смежных отсеков определяется по результатам расчетов аварийной посадки и остойчивости при трех заданных исходных осадках.

Исходные осадки d_j, определяемые по формуле (2.5.4-3), находятся внутри диапазона возможных осадок судна при эксплуатации. Каждая из расчетных осадок представляет собой определенную часть всего диапазона возможных осадок.

Вероятность того что судно получит пробоину, имея осадку, находящуюся в первой часги диапазона, равна 0,45, во второй части — 0,33 и в третьей части — 0,22 (рис. 2.5.4-1).

Соответственно численные коэффициенты в формуле (2.5.4-1) равны приведенным выше вероятностям, поскольку указанное выражение является формулой полной вероятности.

Таким образом учтен закон распределения исходной осадки судна при эксплуатации.

Зависимость вероятности s_j от элементов посадки и начальной аварийной остойчивости [формула (2.5.4-2)] получена на основе анализа результатов модельных испытаний поведения поврежден-

ного судна на волнении с учетом закона распределения интенсивности волнения при столкновениях судов.

В качестве параметра, характеризующего способность поврежденного судна противостоять действию волн, выбрано условное плечо остойчивости, равное произведению метацентрической высоты $h_{ав}$ на тангенс угла входа приведенного борта в воду $\left(\frac{2F_1}{B} - \operatorname{tg}\theta\right)$.

Учитывая, что параметр $h_{ав}\left(\frac{2F_1}{B} - \operatorname{tg}\theta\right)$ не полностью характеризует опасность опрокидывания судна или распространения воды в неповрежденные отсеки и последующего потопления судна,

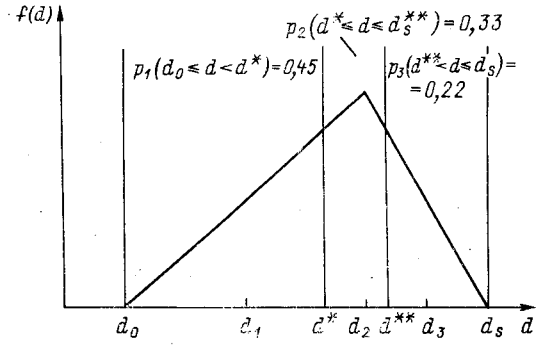


Рис. 2.5.4-1. Плотность распределения эксплуатационной осадки пассажирского судна

в 2.5.4 сформулированы дополнительные условия, когда следует вероятность s_j принимать равной нулю независимо от значения величины $h_{ав}\left(\frac{2F_1}{B} - \operatorname{tg}\theta\right)$. Ввиду того что вероятность s_j должна приниматься равной нулю при критическом (и закритическом) положении поврежденного судна, дополнительные условия несколько мягче или эквивалентны наиболее мягким требованиям 3.5, предъявляемым к аварийной посадке и остойчивости.

При определении величины s_j расчеты посадки и остойчивости следует выполнять:

— при наибольшем возможном возвышении ЦТ судна KG_j при j-й осадке, допустимом при эксплуатации судна;

— для наиболее неблагоприятного случая затопления в отношении размеров и расположения пробоины в районе рассматриваемого отсека или группы смежных отсеков (т. е. случая, при котором значение s_j минимально).

Если можно понизить предельное значение величины KG_j (например, путем приема балласта) и если это целесообразно, то соответствующие мероприятия следует учесть при постройке судна (если это касается, например, укладки твердого балласта) или

в инструкциях плавсоставу (если предполагается балластировка забортной водой). В этом случае и при расчете s_j можно использовать соответственно пониженное значение KG_j, что вследствие увеличения h_j и уменьшения θ_j приведет к увеличению вероятностей s_j и росту индекса A, если мероприятия по снижению возвышения ЦТ не вызовут существенного увеличения осадок судна.

При известных результатах расчетов аварийной посадки и остойчивости пересчет значений h_j и θ_j не представляет большого труда, поэтому несложно определить влияние изменения верхнего допустимого предела KG_j на индекс A. Определение влияния величины KG_j на индекс A рекомендуется выполнять для решения вопроса о целесообразности принятия тех или иных мероприятий с целью повышения степени обеспечения непотопляемости.

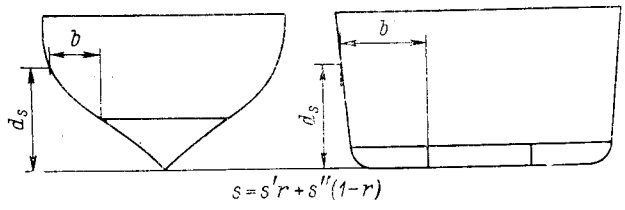


Рис. 2.5.4-2. Водонепроницаемые конструкции, которые не повреждаются при малых глубинах пробоины [s' определяется по результатам расчетов непотопляемости при неповрежденной платформе (стрингере), s'' — при поврежденной платформе (стрингере). При определении вероятности r неповреждения платформы (стрингера) учитывается величина b]

Если величина s_j зависит от глубины повреждения, например при наличии продольного подразделения двойного дна или низкорасположенной платформы при значительном развале шпангоутов, то допустимо отдельно учитывать последствия затопления при разных глубинах пробоин.

В этом случае необходимо вводить в расчеты коэффициенты r и $1-r$ в соответствии с 2.6.4.2 (рис. 2.5.4-2).

Поскольку величины s_j вычисляются при максимально допустимых значениях возвышения ЦТ судна и применительно к наиболее неблагоприятным случаям затопления, расчетные значения вероятностей s_j оказываются меньше фактических (если $s_j<1$). Поэтому и расчетное значение индекса A меньше вероятности сохранения пассажирского судна при получении пробоины.

2.5.5 Сухогрузные суда и суда промыслового флота имеют ниже палубы переборок два вида помещений, различающихся с точки зрения постоянства коэффициента проницаемости:

— грузовые трюмы, у которых коэффициент проницаемости является случайной величиной, изменяющейся в широком диапазоне от рейса к рейсу (сухогрузные суда) или в течение рейса (суда промыслового флота);

— прочие помещения, у которых коэффициент проницаемости при эксплуатации является практически постоянной величиной (при вычислении вероятностей s цистерны судовых запасов отнесены к помещениям с постоянным коэффициентом проницаемости, равным 0,6, о чем уже упоминалось в пояснениях к 2.2.1.2).

Для отсека, у которого пространство между двойным дном и палубой переборок занимает только грузовой трюм, вероятность непотопления s вычисляется по формулам для определения величины s_c. Для отсека, коэффициент проницаемости которого считается неизменяющимся при эксплуатации, вероятность s вычисляется по формулам для определения величины s_m.

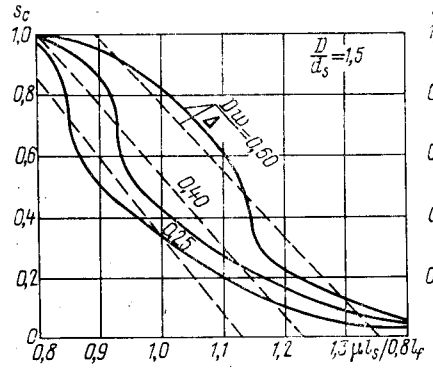


Рис. 2.5.6-1. Зависимость вероятности s_c от отношения $\mu l_s/0{,}8 l_f$ для сухогрузных судов: ——— по расчетам; – – – – по формулам

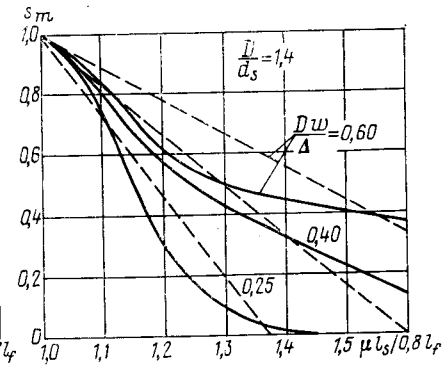


Рис. 2.5.6-2. Зависимость вероятности s_m от отношения $\mu l_s/0{,}8 l_f$ для сухогрузных судов: ——— по расчетам; — — — — по формулам

Чтобы определить вероятности s для групп смежных отсеков или отдельных отсеков, имеющих грузовые трюмы и помещения с постоянными коэффициентами проницаемости, используется интерполяционная формула (2.5.5).

При выводе формул для расчета величины s_c для грузового отсека принималось, что 85% объема отсека приходится на грузовой трюм, а 15% — на двойное дно.

2.5.6 Для грузовых отсеков формулы для определения величины s_c получены линейной аппроксимацией зависимости s_c от отношения длины отсека к предельной длине l_s/l_f, дедвейта к водоизмещению Dw/Δ и высоты борта к осадке деления на отсеки D/d_s (см. рис. 2.5.6-1).

Зависимость $s_c = f(l_s/l_f, Dw/\Delta, D/d_s)$ определена по результатам соответствующих расчетов, учитывающих совместный закон распределения относительной осадки d/d_s и коэффициента проницаемости грузовых трюмов $\mu_{тр}$, а также закон распределения

интенсивности волнения при столкновениях судов, т. е. учитывалась частота плавания судна в различных диапазонах возможных осадок и изменений коэффициента проницаемости (при различных осадках), а также частота встречи той или иной интенсивности волнения при авариях.

Таким же образом были получены формулы для определения вероятности s_m непотопления судна при повреждении отсека с постоянной проницаемостью (рис. 2.5.6-2). Однако при этом в расчетах коэффициент проницаемости отсека считался не изменяющимся и равным расчетному.

При наличии уступов или выступов в поперечных переборках в качестве длины l_s отсека или группы смежных отсеков принимается расстояние между соответствующими плоскими поперечными эквивалентными переборками. При малой протяженности уступа или выступа (менее 2—3% длины судна) положение эквивалентной переборки определяется из условия, что объемы отсеков, разделенных эквивалентной переборкой, равны объемам фактических отсеков с учетом расчетного коэффициента проницаемости.

При большой протяженности уступа или выступа (что на практике встречается весьма редко) положение эквивалентных переборок для рассматриваемого отсека следует определять исходя из равенства объемов и абсцисс центра тяжести (величины) фактического отсека и отсека, расположенного между эквивалентными переборками. Для удовлетворения этого условия необходимо заменять и плоскую переборку эквивалентной.

2.5.7 Формулы для расчета величин s_c и s_m для судов промыслового флота получены тем же путем, что и для сухогрузных.

На закон распределения осадки d и коэффициента проницаемости $\mu_{тр}$ грузового трюма влияет характер эксплуатации. Например, добывающие суда с нерефрижераторными трюмами относительно часто сдают рыбу и значительную часть улова перевозят на палубе, а суда с рефрижераторными трюмами, как правило, полностью загружают рыбой трюм и затем сдают уловы на рефрижераторы. Из-за того, что с увеличением размеров судна уменьшается относительный вес уловов, на закон распределения величин d, $\mu_{тр}$ оказывают влияние и размерения судна.

Транспортные рефрижераторы относительно меньше производственных находятся в районе промысла и принимают рыбу большими партиями. Поэтому законы распределения величин d и $\mu_{тр}$ для различных типов судов промыслового флота оказались различными, а следовательно, и различными формулы для определения вероятностей s_c и s_m.

Следует отметить, что закон распределения осадки транспортных рефрижераторов (приемно-транспортных судов) зависит от параметра $\frac{DW - DW_{в.р}}{\Delta}$ ($Dw_{в.р}$ — спецификационный дедвейт при выходе в рейс), а не от $\frac{DW}{\Delta}$ — как для судов других типов.

2.5.8 При выводе расчетной формулы определения величины s для буксиров, ледоколов, спасательных судов и плавучих маяков предполагалось, что в состав дедвейта входят равномерно расходуемые в рейсе запасы и грузы. Так как эти суда имеют относительно небольшие грузовые трюмы, в которых, как правило, находится малое количество грузов, принималось, что и для грузовых трюмов коэффициент проницаемости является постоянной величиной, которую в соответствии с 2.2.1.3 следует принимать равной 0,95.

2.5.9 Поскольку статистические данные по загрузке накатных судов пока что не накоплены, при выводе формулы для определения вероятности s предполагалось, что эти суда перевозят постоянное количество груза, имеющего неизменный коэффициент проницаемости. Изменение осадки при этом происходит только за счет расходования судовых запасов.

2.5.10 При расчете индекса A для наливных судов необходимо учитывать продольное подразделение судна в соответствии с указаниями 2.6.4 и определять вероятности s отдельно для бортовых отсеков (вероятность их затопления равна apr) и для групп отсеков, разделяемых продольной переборкой (вероятность затопления таких групп отсеков равна $ap\,(1 - r)$).

2.5.11 и **2.5.12** Для судов специального назначения, судов, перевозящих радиоактивные материалы, и судов с АЭУ формулы для расчета величин s рекомендуется выбирать из числа приведенных в 2.5.5—2.5.10. При этом следует ориентироваться на схожесть характера эксплуатации рассматриваемого судна и судна определенного типа в отношении закона распределения осадки и коэффициента проницаемости грузовых трюмов.

2.6.1 Требование пункта по существу аналогично соответствующему требованию прежних Правил о необходимости выдерживать совместное затопление форпика и смежного отсека на судах длиной 100 м и более.

Если длина смежного с форпиком отсека меньше расчетной протяженности пробоины, определяемой в соответствии с 3.2.1.1, следует рассматривать затопление трех отсеков: форпика и двух следующих за ним отсеков.

2.6.2 Пояснения понятий «выступ» и «уступ» приведены на рис. 2.6.2.

2.6.3 Правила допускают учет влияния продольного подразделения судна на вероятностный индекс A. При этом, если индекс A равен или превышает требуемый индекс деления R, а также если продольная водонепроницаемая переборка доведена до палубы переборок и отстоит от наружной обшивки не менее чем на $0{,}2B_1$, то пространство между продольными переборками может не подразделяться поперечными водонепроницаемыми переборками при достаточной высоте двойного дна.

2.6.4 Формулы для определения вероятности r неповреждения продольной переборки получены на основании статистических данных о глубине и протяженности пробоин протаранных судов.

Анализ этих данных показал, что, как правило, чем больше длина пробоины, тем больше и ее глубина.

Коэффициент k_v учитывает влияние скорости хода на размеры пробоины (см. пояснения к 2.4.5).

Для судов промыслового флота увеличение расчетной величины $b_1 (b_1 = 1{,}4b)$ связано с тем, что эти суда получают меньшие по размерам пробоины, чем суда других типов (см. пояснения к 2.4.6).

На тех участках двойного борта, где продольная переборка не параллельна наружной обшивке, при определении величины b следует руководствоваться рисунком 2.6.4-1.

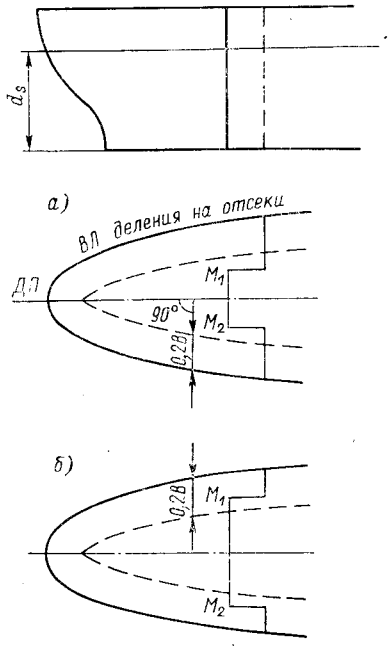


Рис. 2.6.2. Выступ и уступ переборки:

а — переборка с выступом (отрезок M_1M_2 не пересекает пунктирную линию); *б* — переборка с уступом (отрезок M_1M_2 пересекает пунктирную линию)

Формулы для определения вероятностей затопления бортового отсека, бортового отсека и центрального, смежных бортовых отсеков, смежных бортовых отсеков совместно с центральными и т. д. приведены на рис. 2.6.4-2.

3.1.1 Поскольку получение судном пробоины является редким явлением и относительное время плавания судна с обледенением весьма мало, затопление отсеков во время обледенения за все время эксплуатации судна оказывается чрезвычайно редким событием. Последнее подтверждается и статистическими данными об обстоятельствах столкновений судов.

Поэтому Правила допускают выполнять требования к аварийной остойчивости без учета обледенения.

3.1.3 Расчетные исследования показали: если диаграмма остойчивости поврежденного судна имеет характеристики не ниже указанных в 3.5.5, то и в промежуточных стадиях затопления судно на тихой воде не опрокинется. Для расчета остойчивости в промежуточных случаях затопления рекомендуется построить диаграммы остойчивости, считая, что рассматриваемый отсек (или группа смежных отсеков) не сообщается с забортной водой, для нескольких вариантов, различающихся количеством воды в отсеке. Необходимо, чтобы при любом количестве воды в отсеке (вплоть до уровня, совпадающего с уровнем забортной воды) диаграмма остойчивости имела участок с положительными плечами и в положении статического равновесия вода не проникала в неповрежденные отсеки.

Для пассажирских судов ИМКО рекомендует иметь максимальное плечо диаграммы в промежуточных стадиях затопления не менее 0,05 м.

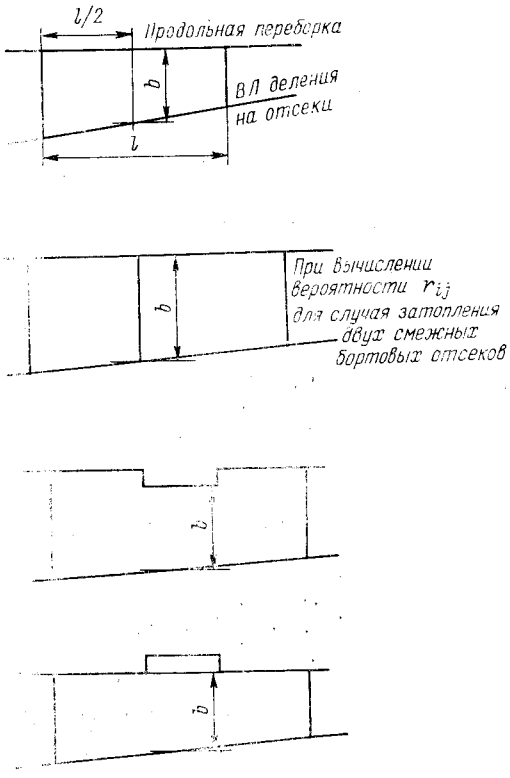


Рис. 2.6.4-1. К определению расчетной величины b отстояния продольной переборки бортового отсека от наружной обшивки

3.1.4 Поскольку при получении пробоины большинство пассажиров устремляется на вышележащие палубы, необходимо проверять аварийную остойчивость в предположении, что все пассажиры стоят на наиболее высоко расположенных доступных им палубах.

3.1.5 Ввиду кратковременности состояния загрузки трюмных земснарядов и грунтоотвозных шаланд, соответствующего моменту после вывалки грунта с одного борта, этот случай нагрузки можно не учитывать при проверке выполнения требований к аварийной остойчивости.

3.1.6 При разделении корпуса судна на малые отсеки значительно возрастает вероятность того, что в случае получения пробоины какая-либо из переборок будет разрушена.

Поэтому почти во всех Правилах деления на отсеки (конвенционных, Регистра СССР) одна из близкорасположенных друг к другу переборок считается несуществующей, т. е. малый отсек присоединяется к смежному.

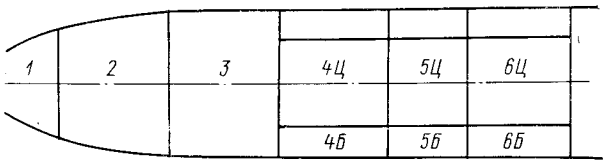


Рис. 2.6.4-2. Схема разделения судна продольными и поперечными переборками

Формулы для определения вероятностей затопления различных комбинаций отсеков

Комбинация отсеков	Вероятность затопления комбинации отсеков при $a=1$
$4Б$	$p_4 r_4$
$4Б+4Ц$	$p_4(1-r_4)$
$3+4Б$	$p_{34}r^*_{34} - p_3 r^*_3 - p_4 r_4$
$3+4Б+4Ц$	$p_{34}(1-r^*_{34}) - p_3(1-r^*_3) - p_4(1-r_4)$
$4Б+5Б$	$p_{45}r_{45} - p_4 r_4 - p_5 r_5$
$4Б+4Ц+5Б+5Ц$	$p_{45}(1-r_{45}) - p_4(1-r_4) - p_5(1-r_5)$
$2+3+4Б$	$p_{234}r^*_{234} - p_{23}r^*_{23} - p_{34}r^*_{34} + p_3 r^*_3$
$2+3+4Б+4Ц$	$p_{234}(1-r^*_{234}) - p_{23}(1-r^*_{23}) - p_{34}(1-r^*_{34}) + p_3(1-r^*_3)$
$3+4Б+5Б$	$p_{345}r^*_{345} - p_{34}r^*_{34} - p_{45}r_{45} + p_4 r_4$
$3+4Б+4Ц+5Б+5Ц$	$p_{345}(1-r^*_{345}) - p_{34}(1-r^*_{34}) - p_{45}(1-r^*_{45}) + p_4(1-r_4)$
$4Б+5Б+6Б$	$p_{456}r_{456} - p_{45} - p_{56}r_{56} + p_5 r_5$
$4Б+4Ц+5Б+5Ц$ $6Б+6Ц$	$p_{456}(1-r_{456}) - p_{45}(1-r_{45}) - p_{56}(1-r_{56}) - p_5(1-r_5)$

Примечание. Вероятности r^* определяются в предположении, что двойной борт имеется и в районе отсеков 2 и 3.

Поскольку при выполнении требований к непотопляемости при отсутствии одной из поперечных переборок и с учетом того, что устройство дополнительной поперечной переборки при сохранении неизменной расстановки других переборок не ухудшает непотопляемости судна, малый отсек можно присоединять к любому из смежных с ним.

Когда суммарная протяженность двух смежных отсеков превышает расчетную длину пробоины, эту пару отсеков можно рассматривать как один самостоятельный, даже если длина одного отсека или каждого из них меньше расчетной протяженности пробоины. Так как неблагоприятное влияние переборок, расположенных близко друг от друга, учитывается при расчете индекса A, при проверке аварийной остойчивости допускается не присоединять к смежным малые отсеки, имеющие длину меньше расчетной протяженности пробоины, если выполняется условие $A \geqslant R$.

В некоторых случаях может оказаться целесообразным размещение в районе малого отсека диптанка, разделенного продольными переборками. При этом, если $A \geqslant R$ и судно выдерживает несимметричное затопление малого отсека, такое решение позволит улучшить использование подпалубных объемов и уменьшить несимметрию затопления других отсеков.

3.1.7 Содержание пункта повторяет соответствующее положение Конвенции по охране человеческой жизни на море (глава II, Правило 7h).

3.1.8 Время спрямления судна рекомендуется определять по одобренному ИМКО методу расчета.

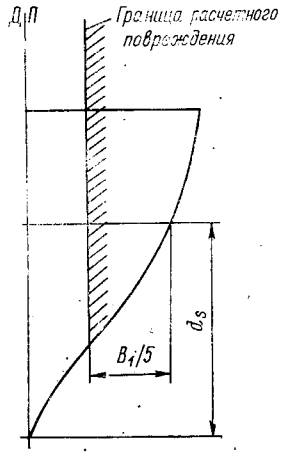


Рис. 3.2.1.2. К определению расчетной пробоины судна ($B_1/5$ — расчетная глубина повреждения)

3.2.1.2 На рис. 3.2.1.2 показано, как определяется размер расчетного повреждения по глубине судна (см. также рис. 2.6.2).

3.2.1.3 Ввиду того что размер расчетной пробоины по вертикали не ограничен, в районе рассматриваемого повреждения палуба переборок и надстройка должны приниматься также поврежденными, что следует учитывать при определении аварийной посадки и построении диаграммы остойчивости поврежденного судна.

3.2.2 При проверке выполнения требований к аварийной остойчивости следует иметь в виду, что метацентрическая высота поврежденного судна оказывается наименьшей при неповрежденном двойном дне (или неповрежденной водонепроницаемой платформе, расположенной под ватерлинией до затопления отсека).

3.3.1 Коэффициенты проницаемости порожних рефрижераторных трюмов, помещений, занятых лесным грузом, и помещений, занятых рудой, на неспециализированных судах приняты в Правилах на основе результатов расчетов.

3.4.2 Эквивалентом требования о необходимости выдерживания затопления любых двух смежных отсеков является требование о выполнении условий 3.5 при получении пробоины расчетной протяженности в любом районе судна.

3.5.1 Ввиду опасности спрямления судна, имеющего отрицательную начальную остойчивость, в Правилах регламентируется минимально допустимое положительное значение расчетной начальной метацентрической высоты поврежденного судна. С учетом возможных погрешностей расчетов и целесообразности некоторого запаса начальной остойчивости в качестве минимально допустимого значения аварийной начальной метацентрической высоты принята величина 0,05 м.

При разработке международных эквивалентных Правил деления пассажирских судов на отсеки было сочтено необходимым ввести дополнительные требования к начальной остойчивости, исходя из ограничения крена при скоплении пассажиров на одном борту поврежденного судна $\left(h_{ав} \geqslant 0{,}003 \frac{B_2^2 (N_1 + N_2)}{\Delta F_1}\right)$ и обеспечения остойчивости на больших углах крена $\left(h_{ав} \geqslant 0{,}015 \frac{B_2}{F_1}\right)$.

ПРИМЕР

РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТНОГО ИНДЕКСА *A* ДЕЛЕНИЯ НА ОТСЕКИ СУХОГРУЗНОГО СУДНА (РИС. 1 И 2 И ТАБЛИЦА)

Основные характеристики судна:

$L_{\perp\perp} = 118$ м	$\Delta = 10\,250$ т
$L_S = 125{,}8$ м	$DW = 6785$ т
$D = 9{,}5$ м	$V_S = 16$ уз
$d_S = 7{,}5$ м	$D/d_S = 1{,}2667$
$B_1 = 16{,}8$ м	$DW/\Delta = 0{,}662$

Расчет вспомогательных величин:

$$k_v = 0{,}4\left(1 + \frac{v_S}{14}\right) = 0{,}4\left(1 + \frac{16}{14}\right) = 0{,}8571;$$

$$\frac{1 - k_v}{13} = \frac{1 - 0{,}8571}{13} = 0{,}01\,099;$$

$$0{,}24\,\frac{1 - k_v}{13} = 0{,}24 \cdot 0{,}01\,099 = 0{,}002\,638;$$

$$0{,}086 - 0{,}24\,\frac{1 - k_v}{13} = 0{,}086 - 0{,}002\,638 = 0{,}08\,336;$$

$$k_v L_S = 0{,}8571 \cdot 125{,}8 = 107{,}82;$$

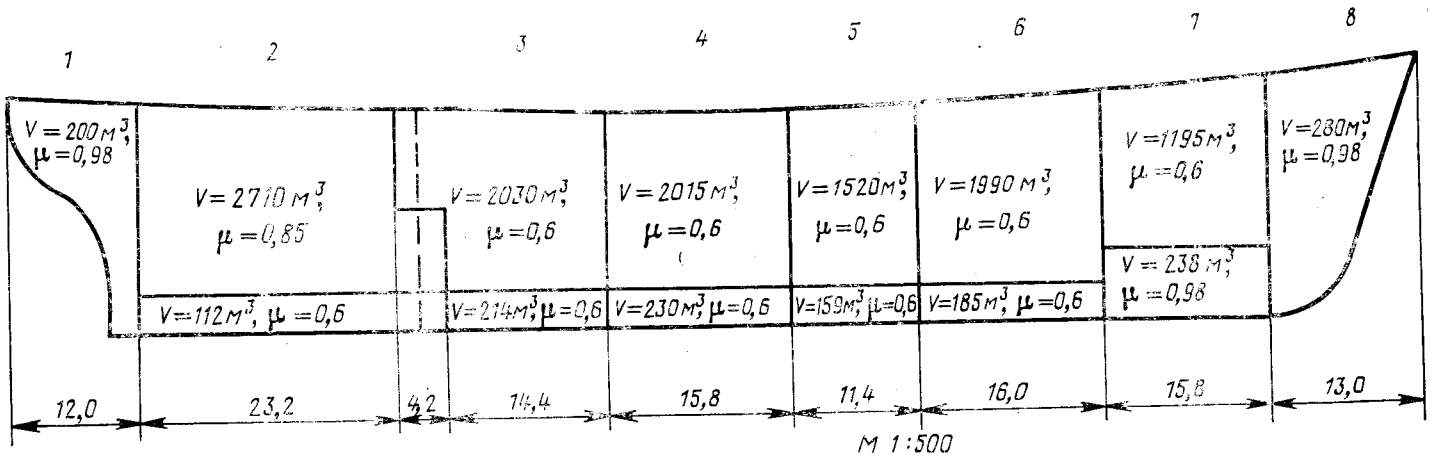


Рис. 1. Схема расположения переборок:
1 — ахтерпик; *2* — МО; *3—7* — грузовые трюмы; *8* — форпик; (– – – – эквивалентная переборка)

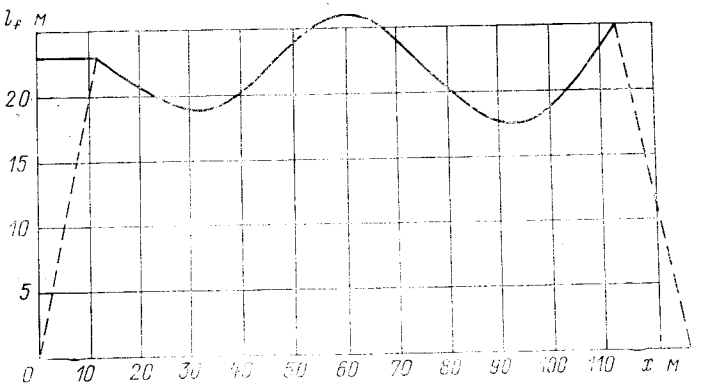


Рис. 2. Кривая предельных длин затопления l_f при $\mu=0{,}80$

Номер отсека	Длина отсека l *	$\frac{l}{k_v L_s}$	$\left(\frac{l}{k_v L_s}\right)^2 = (3)^2$	$\left(\frac{l}{k_v L_s}\right)^3 = (3)^3$	$4{,}46\left(\frac{l}{k_v L_s}\right)^2 = 4{,}46 \cdot (4)$
1	2	3	4	5	6
Для отдельных отсеков					
1	12,0	0,11130	0,01239	0,00139	0,05530
2	23,2	0,21522	0,04632	0,00997	0,20660
3	14,4	0,13356	0,01784	0,00238	0,07957
4	15,8	0,14654	0,02147	0,00315	0,09576
5	11,4	0,10573	0,01118	0,00118	0,04986
6	16,0	0,14840	0,02202	0,00327	0,09821
7	15,8	0,14650	0,02146	0,00314	0,09571
8	13,0	0,12060	0,01454	0,00175	0,06485
Суммы					
Для пар смежных отсеков					
1 + 2	35,2	0,3265	—	—	—
2 + 3	41,8	0,3877	—	—	—
3 + 4	30,2	0,2801	—	—	—
4 + 5	27,2	0,2523	—	—	—
5 + 6	27,4	0,2541	—	—	—
6 + 7	31,8	0,2949	—	—	—
7 + 8	28,8	0,2671	—	—	—
Суммы					
Для трех смежных отсеков					
1 + 2 + 3	53,8	0,4990	—	—	—
2 + 3 + 4	57,6	0,5342	—	—	—
3 + 4 + 5	41,6	0,3858	—	—	—
4 + 5 + 6	43,2	0,4007	—	—	—
5 + 6 + 7	43,2	0,4007	—	—	—
6 + 7 + 8	44,8	0,4155	—	—	—
Суммы					
Итоговые суммы					

* При наличии уступов величина l измеряется между ближайшими частями

** Для пар смежных отсеков $p = p_{ij} - p_i - p_j$, для трех $p = p_{ijk} - p_{ij} -$

$6{,}2\left(\frac{l}{k_v L_s}\right)^3 = 6{,}2\cdot(5)$	$1{,}072\left(\frac{l}{k_v L_s}\right) = 1{,}072\cdot(8)$	$\frac{1-k_v}{13}\cdot\frac{l}{k_v L_s} = \frac{1-k_v}{13}\cdot(3)$	(6) – (7), если (3) $\leqslant 0{,}24$ (8) – (9) $- 0{,}086 + 0{,}24\cdot(1-k_v)/13$, если (3) $> 0{,}24$	$p = k_v\cdot(10)$	p для двух и трех смежных отсеков **	x_1
7	8	9	10	11	12	13
0,00862	—	—	0,04668	0,0400	—	0
0,06181	—	—	0,14480	0,1241	—	12,0
0,01476	—	—	0,06481	0,0555	—	39,4
0,01953	—	—	0,07623	0,0653	—	53,8
0,00732	—	—	0,04254	0,0365	—	69,6
0,02027	—	—	0,07794	0,0668	—	81,0
0,01947	—	—	0,07624	0,0653	—	97,0
0,01085	—	—	0,05400	0,0463	—	112,8
—	0,3500	0,00359	0,2630	0,2254	0,0613	0
—	0,4156	0,00426	0,3280	0,2811	0,1015	12,0
—	0,3003	0,00308	0,2139	0,1833	0,0625	39,4
—	0,2705	0,00277	0,1844	0,1580	0,0562	53,8
—	0,2724	0,00279	0,1863	0,1597	0,0564	69,6
—	0,3161	0,00324	0,2295	0,1967	0,0646	81,0
—	0,2863	0,00294	0,2000	0,1714	0,0598	97,0
—	0,5349	0,00548	0,4461	0,3824	0	0
—	0,5727	0,00587	0,4835	0,4144	0,0055	12,0
—	0,4136	0,00424	0,3260	0,2794	0,0034	39,4
—	0,4296	0,00440	0,3418	0,2930	0,0118	53,8
—	0,4296	0,00440	0,3418	0,2930	0,0034	69,6
—	0,4454	0,00457	0,3575	0,3064	0,0036	81,0

переборок, ограничивающих отсек или группу смежных отсеков.

$p_{jk} + p_j$.

Номер отсека	x_2	$\frac{x_1}{L_S}$, но не более 0,5	$\frac{x_2}{L_S}$, но не более 0,5	$\frac{x_1+x_2}{L_S}$, но не более 1,0	1 + (15) + (16) + (17)
1	14	15	16	17	18
Для отдельных отсеков					
1	12,0	0	0,09539	0,09539	1,1908
2	35,2	0,09539	0,27981	0,37520	1,7504
3	53,8	0,31319	0,42766	0,74085	2,4817
4	69,6	0,42766	0,5	0,98092	2,9086
5	81,0	0,5	0,5	1,0	3,0
6	97,0	0,5	0,5	1,0	3,0
7	112,8	0,5	0,5	1,0	3,0
8	125,8	0,5	0,5	1,0	3,0
Суммы					
Для пар смежных отсеков					
1 + 2	35,2	0	0,27981	0,27981	1,5596
2 + 3	53,8	0,09539	0,42766	0,52305	2,0461
3 + 4	69,6	0,31319	0,5	0,86645	2,6796
4 + 5	81,0	0,42766	0,5	1,0	2,9277
5 + 6	97,0	0,5	0,5	1,0	3,0
6 + 7	112,8	0,5	0,5	1,0	3,0
7 + 8	125,8	0,5	0,5	1,0	3,0
Суммы					
Для трех смежных отсеков					
1 + 2 + 3	53,8	0	0,42766	0,42766	1,8553
2 + 3 + 4	69,6	0,09539	0,5	0,64865	2,2440
3 + 4 + 5	81,0	0,31319	0,5	0,95707	2,7703
4 + 5 + 6	97,0	0,42766	0,5	1,0	2,9277
5 + 6 + 7	112,8	0,5	0,5	1,0	3,0
6 + 7 + 8	125,8	0,5	0,5	1,0	3,0
Суммы					
Итоговые суммы					

$a=0{,}4\cdot(18)$	$ap=\begin{cases}(11)\cdot(19)\text{ для отдельных отсеков, }(12)\cdot(19)\text{ для двух и трех смежных отсеков}\end{cases}$	Проницаемость, μ	l_s	Предельная длина затопления l_f при $\mu=0{,}8$	$\frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}=\frac{(21)\cdot(22)}{0{,}8\cdot(23)}$	$1{,}246\frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}=1{,}246\cdot(24)$	$s_c=2{,}2587-1{,}246\frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}=2{,}2587-$ $-(25)$, но $0\leqslant s_c\leqslant 1$
19	20	21	22	23	24	25	26
0,4763	0,01906	0,980	12,0	22,86	0,6430	0,8012	1,0
0,7002	0,08689	0,840	25,3	19,87	1,3369	1,6658	0,5929
0,9927	0,05501	0,600	16,5	21,92	0,5646	0,7035	1,0
1,1634	0,07597	0,600	15,8	26,11	0,4538	0,5654	1,0
1,2	0,04380	0,600	11,4	21,93	0,3899	0,4858	1,0
1,2	0,08016	0,600	16,0	17,97	0,6678	0,8321	1,0
1,2	0,07836	0,663	15,8	20,74	0,6314	0,7867	1,0
1,2	0,05556	0,980	13,0	25,10	0,6345	0,7906	1,0
	0,4949						
0,6238	0,03823	0,849	37,3	22,67	1,7461	2,1756	0,0831
0,8184	0,08307	0,734	41,8	18,73	2,0476	2,5513	0
1,0718	0,06699	0,600	32,3	25,07	0,9663	1,2040	1,0
1,1711	0,06582	0,600	27,2	24,90	0,8193	1,0208	1,0
1,2	0,06768	0,600	27,4	19,16	1,0725	1,3363	0,9224
1,2	0,07752	0,625	31,8	17,74	1,4004	1,7449	0,5138
1,2	0,07176	0,715	28,8	25,10	1,0255	1,2778	0,9309
	0,4711						
0,7421	0	0,743	53,8	19,41	2,5743	3,2076	0
0,8976	0,00494	0,693	57,6	20,36	2,4507	3,0536	0
1,1081	0,00377	0,600	43,7	26,11	1,2553	1,5641	0,6946
1,1711	0,01382	0,600	43,2	21,89	1,4801	1,8442	0,4145
1,2	0,00408	0,617	43,2	17,71	1,8813	2,3441	0
1,2	0,00432	0,651	44,8	20,09	1,8146	2,2610	0
	0,0309						
	0,9969						

Номер отсека	$0{,}6716\ \frac{\mu l_s}{0{,}81 l_f} = 0{,}6716$ (24)	$s_m = 1{,}6716 - 0{,}6716\ \frac{\mu l_s}{0{,}81 l_f} = 1{,}6716 -$ $- (27)$, но $0 \leqslant s_m \leqslant 1$	Объем грузовых помещений в отсеке	Общий объем отсека	$e = \frac{(29)}{(30)}$, но не более 0,85
1	27	28	29	30	31
Для отдельных отсеков					
1	0,4318	1,0	0	200	0
2	0,8979	0,7737	0	2822	0
3	0,3792	1,0	2030	2244	0,85
4	0,3048	1,0	2015	2245	0,85
5	0,2619	1,0	1520	1679	0,85
6	0,4485	1,0	1990	2175	0,85
7	0,4240	1,0	1195	1433	0,8339
8	0,4261	1,0	0	280	0
Суммы					
Для пар смежных отсеков					
1 + 2	1,1727	0,4989	0	3022	0
2 + 3	1,3752	0,2964	2030	5066	0,4007
3 + 4	0,6490	1,0	4045	4489	0,85
4 + 5	0,5502	1,0	3535	3924	0,85
5 + 6	0,7203	0,9513	3510	3854	0,85
6 + 7	0,9405	0,7311	3185	3608	0,85
7 + 8	0,6887	0,9829	1195	1713	0,6976
Суммы					
Для трех смежных отсеков					
1 + 2 + 3	1,7289	0	2030	5266	0,3855
2 + 3 + 4	1,6459	0,0257	4045	7311	0,5533
3 + 4 + 5	0,8431	0,8285	5565	6168	0,85
4 + 5 + 6	0,9940	0,6776	5525	6099	0,85
5 + 6 + 7	1,2635	0,4081	4705	5287	0,85
6 + 7 + 8	1,2187	0,4529	3185	3888	0,8192
Суммы					
Итоговые суммы					

Продолжение

$\frac{e}{0,85} = \frac{(31)}{0,85}$	$1 - \frac{e}{0,85} = 1 - (32)$	$s_c \frac{e}{0,85} = (26) \cdot (32)$	$s_m \left(1 - \frac{e}{0,85}\right) = (28) \cdot (33)$	$s = (34) + (35)$	c	$apcs = (20) \times (36) \cdot (37)$
32	33	34	35	36	37	38
0	1,0	0	1,0	1,0	1,0	0,01906
0	1,0	0	0,7737	0,7737	1,0	0,06723
1,0	0	1,0	0	1,0	1,0	0,05501
1,0	0	1,0	0	1,0	1,0	0,07597
1,0	0	1,0	0	1,0	1,0	0,04380
1,0	0	1,0	0	1,0	1,0	0,08016
0,9810	0,0190	0,9810	0,0190	1,0	1,0	0,07836
0	1,0	0	1,0	1,0	1,0	0,05556
						0,4752
0	1,0	0	0,4989	0,4989	0,7	0,01335
0,4714	0,5286	0	0,1567	0,1567	0,7	0,00911
1,0	0	1,0	0	1,0	0,7	0,04689
1,0	0	1,0	0	1,0	0,7	0,04607
1,0	0	0,9224	0	0,9224	0,7	0,04370
1,0	0	0,5138	0	0,5138	0,7	0,02788
0,8207	0,1793	0,8050	0,1762	0,9812	1,0	0,07041
						0,2574
0,4535	0,5465	0	0	0	0,7	0
0,6509	0,3491	0	0,0090	0,0090	0,7	0
1,0	0	0,6946	0	0,6946	0,7	0,00183
1,0	0	0,4145	0	0,4145	0,7	0,00401
1,0	0	0	0	0	0,7	0
0,9638	0,0362	0	0,0164	0,0164	0,7	0
						0,0058

$A = 0,7384$

$$E = \left[1{,}68\,\frac{D}{d_s} - 0{,}478\left(\frac{D}{d_s}\right)^2 - 1{,}02\right]\left(0{,}7\,\frac{DW}{\Delta} + 0{,}18\right);$$

$$S_c = \left(0{,}6 + \frac{DW}{\Delta}\right)\frac{E + \left(0{,}8 - \frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}\right)\left(\frac{D}{d_s} - 1{,}05\right)}{E} =$$

$$= (0{,}6 + 0{,}6620)\left[1 + \frac{\left(0{,}8 - \frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}\right)(1{,}2667 - 1{,}05)}{(1{,}68 \cdot 1{,}2667 - 0{,}478 \cdot 1{,}2667^2 - 1{,}02)\,(0{,}7 \cdot 0{,}662 + 0{,}18)}\right] =$$

$$= 2{,}2587 - 1{,}246\,\frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f};$$

$$s_m = \frac{0{,}6\,\frac{DW}{\Delta} + \left(1 - \frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}\right)\left(\frac{D}{d_s} - 1\right)}{0{,}6\,\frac{DW}{\Delta}} =$$

$$= \frac{0{,}6 \cdot 0{,}662 + \left(1 - \frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}\right)(1{,}2667 - 1)}{0{,}6 \cdot 0{,}662} = 1{,}6716 - 0{,}6716\,\frac{\mu l_s}{0{,}8 l_f}.$$

УДК 629.12 : 532.321

ИНСТРУКЦИЯ ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЖИДКИХ ГРУЗОВ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА

Настоящую Инструкцию рекомендуется использовать для определения влияния свободных поверхностей жидких грузов на остойчивость судна при применении частей IV «Остойчивость» и V «Деление на отсеки» Правил классификации и постройки морских судов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Основные принципы

1.1.1 Инструкция предусматривает возможность применения различных способов учета свободных поверхностей от приближенных до более точных и соответственно от простых до более сложных. Простые способы предусматривают значительный запас остойчивости по сравнению с требуемым Правилами классификации и постройки морских судов, 1977 г. Более сложные способы позволяют реализовать упомянутый запас остойчивости. Выбор того

или иного способа, кроме случаев, особо оговоренных в тексте Инструкции, производится по усмотрению конструктора или судовладельца.

1.1.2 В качестве основных характеристик при отборе учитываемых цистерн и составлении их расчетных комбинаций в соответствии с 1.4.8 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г. приняты следующие:

.1 поправка Δm_h (тс·м) [Н·м] к коэффициенту остойчивости для начальной остойчивости и малых углов крена;

.2 поправка ΔM_{30} (тс·м) [Н·м] к восстанавливающему моменту при наклонении на 30° для больших углов крена.

1.1.3 Во всех случаях, кроме специально оговоренных в 3.2.2 и 3.5.2 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г., определение поправок производится при условном заполнении цистерн на 50% их емкости. Запрессованными считаются цистерны, заполненные на 95% и более.

Способы учета для указанных двух случаев применительно к произвольному заполнению приведены в разд. 6 настоящей Инструкции.

1.1.4 По согласованию с Регистром допускается также применение других достаточно точных способов теории корабля, опубликованных в печати.

1.2 Цистерны, не учитываемые в расчетах

1.2.1 Из расчета исключаются все цистерны, указанные в 1.4.8 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г.

1.2.2 Поправки Δm_h и ΔM_{30} подсчитываются, как указано в 1.4.

1.3 Выбор расчетных комбинаций цистерн

1.3.1 Выбор расчетных комбинаций для типовых случаев нагрузки (в том числе и для требуемых Правилами классификации и постройки морских судов, 1977 г.) производится в запас остойчивости условно одной или двумя расчетными комбинациями по каждому виду жидкого груза в соответствии с 1.4.8 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г.

В общем случае в расчетные комбинации для больших и малых углов крена могут входить различные цистерны по некоторым или всем видам жидкого груза.

1.3.2 Для выбора расчетной комбинации вначале производится по каждому виду жидкого груза в отдельности сопоставление сочетаний цистерн (или одиночных цистерн) с данным видом жидкого груза и выбирается то, которое имеет наибольшую величину $\sum\limits_k \Delta m_h$ — для малых углов крена и $\sum\limits_k \Delta M_{30}$ — для больших (здесь индекс k относится к одному рассматриваемому виду жидкого груза). В сочетания включаются те цистерны рассматриваемого

вида жидкого груза, из которых по условиям эксплуатации необходимо одновременно производить расходование (или прием) жидкого груза.

Затем из выбранных по отдельным видам жидкого груза сочетаний с наибольшими поправками $\sum\limits_{k}\Delta m_h$ или $\sum\limits_{k}\Delta M_{30}$ составляется расчетная комбинация для всех видов жидких грузов, имеющихся на судне, с суммарной поправкой $\sum\limits_{j}\sum\limits_{k}\Delta m_h$ или $\sum\limits_{j}\sum\limits_{k}\Delta M_{30}$, где индекс j относится к различным видам жидкого груза.

Полученная расчетная комбинация цистерн распространяется на все случаи нагрузки, кроме докового, независимо от фактического наличия свободных поверхностей, в том числе и для судна с полными запасами, когда свободных поверхностей нет.

Для выбора расчетной комбинации цистерн составляется таблица (см. образец), в которую заносятся по каждому виду жидкого груза цистерны с указанием их характеристик и значений поправок Δm_h и ΔM_{30}.

Во всех стадиях проектирования достаточно помещать в таблицу по каждому виду жидкого груза и балласта только цистерны, дающие наибольшие поправки для больших или малых углов крена.

При выпуске исполнительной документации перед составлением Информации (см. разд. 7) в таблицу должны быть включены все учитываемые цистерны. Дополнительные указания по выбору расчетных комбинаций приведены также в разд. 2, 3 и 4.

1.4 Определение поправок

1.4.1 Определение поправки Δm_h (тс·м) [Н·м] рекомендуется производить по приближенной формуле

$$\Delta m_h = \frac{\gamma v_т b_т}{12}\frac{b_т}{a_т};$$

$$\left[\Delta m_h = \frac{10\gamma v_т b_т}{12}\frac{b_т}{a_т}\cdot 10^3\right]. \qquad (1.4.1)$$

Габаритные размеры $a_т$ и $b_т$ для некоторых типов цистерн показаны на рис. 1.4.1.

1.4.1.1 По усмотрению конструктора расчет может быть уточнен введением в формулу (1.4.1) дополнительного множителя $k_h\sqrt{C_b}$:

$$\Delta m_h = \frac{\gamma v_т b_т}{12}\frac{b_т}{a_т}k_h\sqrt{C_b};$$

$$\left[\Delta m_h = \frac{10\gamma v_т b_т}{12}\frac{b_т}{a_т}k_h\sqrt{C_b}\cdot 10^3\right], \qquad (1.4.1.1)$$

где $C_b = \dfrac{v_т}{a_т b_т c_т}$; $a_т$, $b_т$, $c_т$ — габаритные (по основным плоско-

стям) высота, ширина и длина цистерны; k_h — уточняющий коэффициент для цистерн, существенно отличающихся от прямоугольных, определяемый согласно 1.4.1.2.

1.4.1.2 Для цистерн, существенно отличающихся от прямоугольных, значения k_h в формуле (1.4.1.1) принимаются следующими: $k_h = k_{h1}k_{h2}$.

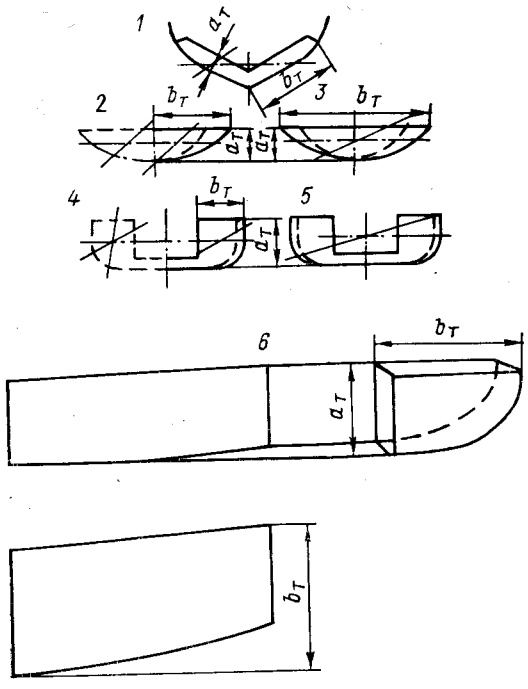


Рис. 1.4.1. К определению расчетных габаритных размеров различных типов цистерн:

1 — плоской килеватой; *2* — несимметричной; *3* — симметричной (перегородка проницаемая); *4* — с закрытым перетоком; *5* — с открытым перетоком (для малых углов крена непосредственный расчет момента инерции, а для больших — по равнообъемным наклонениям); *6* — несимметричной бортовой

При этом, если коэффициент полноты проекции цистерны в плане $C_w < 0{,}7$, то следует принимать $k_{h1} = 0{,}7$, а если $C_w \geqslant 0{,}7$, то $k_{h1} = 1$.

Если проекция цистерны на диаметральную плоскость приближается к треугольнику, то принимается коэффициент $k_{h2} = 2$. Промежуточные значения следует принимать, производя грубую интерполяцию между треугольником и прямоугольником, определяя при этом полноту проекции на глаз (для прямоугольника $k_{h2} = 1$).

1.4.2 Поправка ΔM_{30} (тс·м) [Н·м] определяется по приближенной формуле

$$\Delta M_{30}=\bar{l}_{30}\gamma v_{\text{т}} b_{\text{т}};$$

$$[\Delta M_{30}=10\bar{l}_{30}\gamma v_{\text{т}} b_{\text{т}}\cdot 10^3], \qquad (1.4.2)$$

где $\bar{l}_{30}$ — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $b_{\text{т}}/a_{\text{т}}$ по графику (рис. 1.4.2).

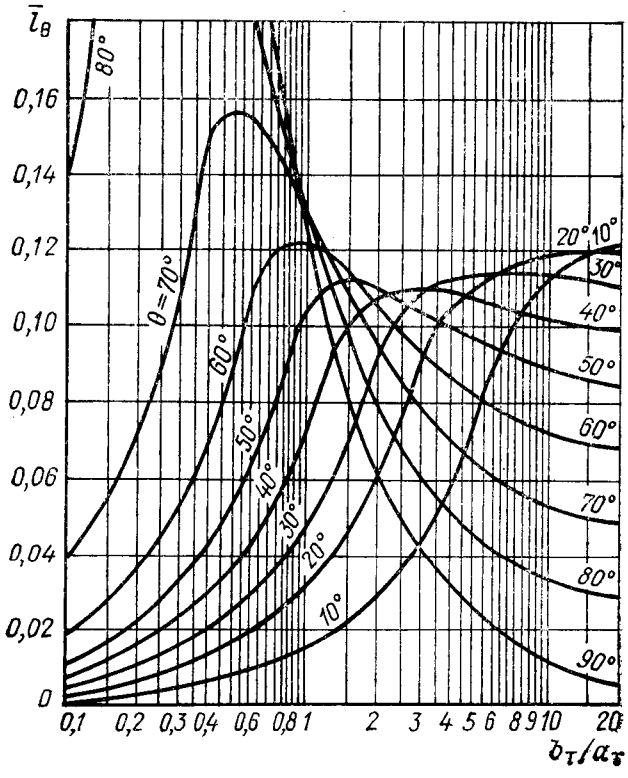


Рис. 1.4.2. Интерполяционные кривые значений безразмерных коэффициентов $\bar{l}_\theta$

1.4.2.1 По усмотрению конструктора расчет может быть уточнен введением в формулу (1.4.2) дополнительного множителя $k_l\sqrt{C_b}$ (тс·м) [Н·м]

$$\Delta M_{30}=\bar{l}_{30}\gamma v_{\text{т}} b_{\text{т}} k_l\sqrt{C_b};$$

$$[\Delta M_{30}=10\bar{l}_{30}\gamma v_{\text{т}} b_{\text{т}} k_l\sqrt{C_b}\cdot 10^3], \qquad (1.4.2.1)$$

где k_l — уточняющий коэффициент для цистерн, существенно отличающихся от прямоугольных, определяемый согласно 1.4.2.2.

1.4.2.2 Коэффициент k_l в формуле (1.4.2.1) можно принять

$$k_l=k_{l_1}k_{l_2}. \qquad (1.4.2.2)$$

При попарном (одновременно на оба борта) учете плоских килеватых цистерн (рис. 1.4.1, поз. *1*), а также несимметричных

цистерн с коэффициентом полноты $C_b < 0{,}8$ рекомендуется принимать $k_{l_1} = 1{,}2$. Для несимметричных цистерн, имеющих $C_b > 0{,}8$, и для всех симметричных цистерн $k_{l_1} = 1$.

Для цистерн, имеющих проекцию на ДП, приближающуюся к треугольнику (как, например, для цистерн форпика или ахтерпика), рекомендуется принимать $k_{l_2} = 1{,}3$. Для цистерн с проекцией на ДП, близкой к прямоугольнику — $k_{l_2} = 1$.

1.4.3 Цистерны, разделенные проницаемыми переборками или снабженные открытыми перетоками, применительно ко всем нормативам учитываются как сообщающиеся сосуды (см., например, рис. 1.4.1, поз. *5*).

Однако для расчетов по критерию погоды допускается рассматривать такие цистерны как раздельные (например, рис. 1.4.1, поз. *4*), если к удовлетворению Регистра будет доказано расчетом, что за время наклонения и выравнивания судна при действии шквала перетекание будет незначительным.

1.5 Определение исправленных метацентрической высоты и плеч статической и динамической остойчивости

1.5.1 Исправленная метацентрическая высота h (в м) определяется по формуле

$$h = h_0 - \sum \Delta h = h_0 - \frac{\sum\limits_j \sum\limits_k \Delta m_h}{\Delta}, \qquad (1.5.1)$$

где h_0 — начальная метацентрическая высота судна (без учета свободных поверхностей), м; $\sum\limits_j \sum\limits_k \Delta m_h$ — поправка, определяемая по указаниям 1.2, а также 1.1.4, тс·м [Н·м]; Δ — водоизмещение судна, тс [Н].

1.5.2 Исправленные плечи диаграммы статической остойчивости l определяются путем вычета из ординат исходной диаграммы l_0 (без учета свободных поверхностей) суммарных поправок $\sum \Delta l_0$

$$l = l_0 - \sum \Delta l_\theta = l_0 - \sum_j \sum_k \Delta l_\theta. \qquad (1.5.2)$$

Определение поправок $\sum\limits_j \sum\limits_k \Delta l_\theta$ различными способами приведено ниже в разделах 2—5.

1.5.3 Исправленные плечи динамической остойчивости подсчитываются численным интегрированием плеч статической остойчивости l, полученных по формуле (1.5.2). Можно также отдельно подсчитать численным интегрированием суммарные поправки к диаграмме динамической остойчивости $\sum\limits_j \sum\limits_k \Delta l_d$ и затем вычесть их из соответствующих ординат неисправной диаграммы.

2. СПОСОБ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ОДНОЙ РАСЧЕТНОЙ КОМБИНАЦИИ

2.1 Данный способ предусматривает в соответствии с 1.4.8 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г. и 1.3.1 настоящей Инструкции применение одной расчетной комбинации для больших и малых углов крена. Выбор цистерн, входящих в расчетную комбинацию, производится по наибольшим величинам поправок Δm_h в соответствии с указаниями 1.3. Поправки к плечам статической остойчивости определяются по поправкам к метацентрической высоте.

Этот способ обычно обеспечивает на больших углах крена значительный запас остойчивости сверх требований Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г., кроме случаев наличия на судне больших цистерн с отношением ширины к высоте меньшим единицы. Если емкость наибольшей из таких цистерн в 5 раз превышает емкость самой большой плоской цистерны, то применение этого способа не допускается и учет влияния свободных поверхностей следует производить в соответствии с указаниями, приведенными в разделах 3, 4 и 5 (здесь и далее «плоской» цистерной называется цистерна с отношением ширины к высоте больше 3).

2.2 Поправки на влияние свободных поверхностей отдельных цистерн вычисляются (в м) по формулам:

.1 для начальной метацентрической высоты

$$\Delta h = \frac{\Delta m_h}{\Delta}; \qquad (2.2.1)$$

.2 для плеча статической остойчивости

$$\Delta l_\theta = \Delta h \sin \theta. \qquad (2.2.2)$$

2.3 Определение поправки Δm_h.

2.3.1 Поправки Δm_h для цистерн, близких в плане к прямоугольным, могут быть подсчитаны по приближенной формуле (1.4.1.1).

2.3.2 Если полученная в соответствии с указаниями 1.3.2 суммарная поправка выбранной расчетной комбинации цистерн для начальной остойчивости $\sum_j \sum_h \Delta m_h > 0{,}25\Delta_{\min} h$, то расчет поправок Δm_h (в тс·м) [Н·м] для цистерн сложной конфигурации и цистерн с $C_b < 0{,}8$ следует уточнить по формуле

$$\Delta m_h = \gamma i_0;$$

$$[\Delta m_h = 10\gamma i_0 \cdot 10^3], \qquad (2.3.2)$$

где i_0 — момент инерции свободной поверхности при заполнении цистерны на 50% ее емкости и отсутствии крена, м^4; $\Delta_{\min}$ — водоизмещение, соответствующее варианту минимальной загрузки судна, нормируемому Правилами (в тс) [в Н].

Величина i_0 определяется по указаниям 2.4.

2.4 Для определения момента инерции свободной поверхности действительная ватерлиния в цистерне заменяется равновеликой трапецией (рис. 2.4-1), момент инерции (в м^4) которой подсчитывается по формуле

$$i_0 = f\left(\frac{b_2}{b_1}\right) c_т b_1^3, \qquad (2.4)$$

где $f\left(\frac{b_2}{b_1}\right)$ снимается с графика (рис. 2.4-2), на котором верхняя кривая соответствует несимметричной трапеции, а нижняя — симметричной.

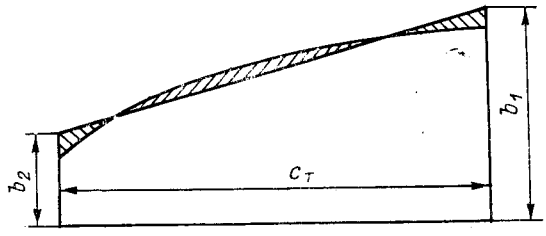


Рис. 2.4-1. Схема замены площади свободной поверхности эквивалентной трапецией

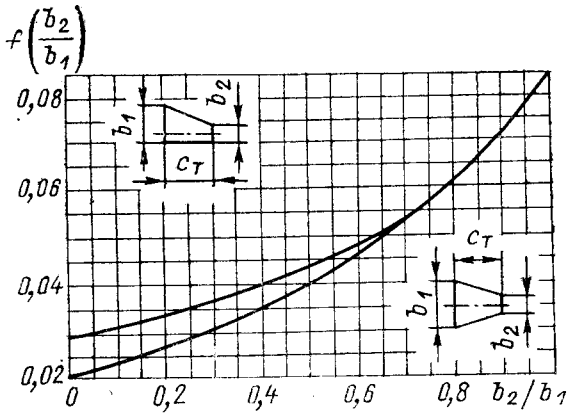


Рис. 2.4-2. Кривые безразмерных коэффициентов $f(b_2/b_1)$

3. УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ДВУМ РАСЧЕТНЫМ КОМБИНАЦИЯМ

3.1 Этот приближенный способ обеспечивает некоторый запас остойчивости на больших углах крена. Однако для малых углов крена он приводит к погрешности в опасную сторону. Поэтому для судов, остойчивость которых лимитируется требованиями части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских

судов, 1977 г. к начальной остойчивости или части V «Деление на отсеки» к аварийной остойчивости, применение данного способа не допускается.

3.2 Поправка к начальной метацентрической высоте определяется для расчетной комбинации цистерн, выбранной согласно 1.3 по наибольшему значению $\sum_j \sum_h \Delta m_h$, подсчитанному по формуле (1.4.1).

Исправленная метацентрическая высота определяется по формуле (1.5.1).

3.3.1 Исправленные плечи статической и динамической остойчивости определяются согласно 1.5.2 и 1.5.3 для расчетной комбинации цистерн, выбранной в соответствии с 1.3 по наибольшему значению $\sum_j \sum_k \Delta M_{30}$, в котором ΔM_{30} отдельных цистерн подсчитаны по формуле (1.4.2).

3.3.2 Поправки к плечам статической остойчивости (см. 1.5.2) определяются (в м) по формуле

$$\sum \Delta l_\theta = \frac{\sum \Delta M_\theta}{\Delta}, \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

а входящие в формулу (3.3.2-1) величины $\sum \Delta M_\theta$ (в тс·м) [Н·м] — по формуле

$$\sum \Delta M_\theta = k_\theta \sum \Delta M_{30};$$
$$[\sum \Delta M_\theta = 10 k_\theta \sum \Delta M_{30} \cdot 10^3]. \qquad (3.3.2\text{-}2)$$

Здесь $\sum \Delta M_{30}$ обозначает величину $\sum_j \sum_k \Delta M_{30}$ для выбранной согласно 3.3.1 расчетной комбинации цистерн.

Безразмерный коэффициент k_θ для углов крена θ с интервалом $\Delta\theta = 10°$ берется из табл. 3.3.2 в зависимости от коэффициента k_{60}, который подсчитывается по формуле

$$k_{60} = \frac{\sum \Delta M_{60}}{\sum \Delta M_{30}}. \qquad (3.3.2\text{-}3)$$

Промежуточные значения k_{60} округляются до ближайшего табличного значения.

Поправки отдельных цистерн (в тс·м) [Н·м], входящих в $\sum \Delta M_{60}$ формулы (3.3.2-3) (тех же, что и в $\sum \Delta M_{30}$), подсчитываются по формуле

$$\Delta M_{60} = \bar{l}_{60} \gamma v_т b_т;$$
$$[\Delta M_{60} = 10 \bar{l}_{60} \gamma v_т b_т \cdot 10^3], \qquad (3.3.2\text{-}4)$$

где безразмерный коэффициент $\bar{l}_{60}$ определяется по графику рис. 1.4.2.

Примечание. Касательная в начале координат к диаграмме статической остойчивости, построенной с учетом поправок, рассчитанных по формуле (3.3.2-1), при этом способе не будет отсекать на одном радиане отрезка, равного исправленной метацентрической высоте, полученной по указаниям в разд. 1 и 2.

Значения k_θ в зависимости от k_{60}

k_{10}	k_{20}	k_{30}	k_{40}	k_{50}	k_{60}	k_{70}	k_{80}	k_{90}
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,35	1	0,53	0,32	0,1	—	—	—
0,04	0,40	1	0,60	0,40	0,2	0,04	—	—
0,08	0,44	1	0,68	0,50	0,3	0,14	—	—
0,13	0,48	1	0,76	0,58	0,4	0,24	0,08	—
0,18	0,52	1	0,82	0,67	0,5	0,34	0,18	0
0,22	0,55	1	0,88	0,76	0,6	0,44	0,28	0,10
0,25	0,58	1	0,94	0,84	0,7	0,54	0,38	0,20
0,27	0,60	1	0,99	0,92	0,8	0,66	0,49	0,30
0,28	0,60	1	1,04	1,00	0,9	0,76	0,59	0,40
0,29	0,61	1	1,07	1,08	1,0	0,87	0,70	0,50
0,30	0,61	1	1,12	1,16	1,1	1,00	0,84	0,62
0,30	0,62	1	1,14	1,23	1,2	1,10	0,94	0,74
0,31	0,63	1	1,15	1,30	1,3	1,24	1,10	0,90
0,31	0,64	1	1,15	1,35	1,4	1,36	1,24	1,06
0,31	0,65	1	1,16	1,39	1,5	1,48	1,42	1,26
0,32	0,66	1	1,18	1,43	1,6	1,60	1,60	1,46
0,33	0,68	1	1,21	1,48	1,7	1,72	1,78	1,70
0,34	0,70	1	1,24	1,54	1,8	1,84	1,93	1,92
0,34	0,72	1	1,27	1,60	1,9	1,98	2,14	2,16
0,35	0,74	1	1,30	1,66	2,0	2,12	2,32	2,39
0,36	0,76	1	1,33	1,73	2,1	2,28	2,52	2,64
0,37	0,78	1	1,36	1,80	2,2	2,40	2,70	2,85
0,38	0,80	1	1,39	1,88	2,3	2,56	2,90	3,08
0,40	0,82	1	1,42	1,95	2,4	2,68	3,08	3,29
0,42	0,84	1	1,44	2,02	2,5	2,80	3,27	3,52
0,44	0,88	1	1,46	2,08	2,6	2,92	3,44	3,75
0,46	0,90	1	1,48	2,16	2,7	3,06	3,68	4,08
0,48	0,92	1	1,49	2,20	2,8	3,17	3,94	4,40
0,49	0,94	1	1,50	2,25	2,9	3,30	4,22	—
0,50	0,96	1	1,51	2,30	3,0	3,46	4,70	—
0,52	0,98	1	1,52	2,34	3,1	3,60	—	—
0,54	0,99	1	1,53	2,37	3,2	3,80	—	—
0,55	1,00	1	1,54	2,40	3,3	3,94	—	—
0,56	1,02	1	1,54	2,44	3,4	4,16	—	—
0,57	1,03	1	1,55	2,46	3,5	4,30	—	—
0,58	1,04	1	1,55	2,48	3,6	4,50	—	—
0,59	1,05	1	1,56	2,50	3,7	4,80	—	—
0,60	1,05	1	1,56	2,52	3,8	—	—	—
0,60	1,06	1	1,56	2,54	3,9	—	—	—
0,61	1,07	1	1,56	2,54	4,0	—	—	—
0,62	1,07	1	1,57	2,56	4,1	—	—	—
0,62	1,08	1	1,57	2,58	4,2	—	—	—
0,63	1,08	1	1,57	2,59	4,3	—	—	—

4. УТОЧНЕННЫЙ СПОСОБ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ДВУМ РАСЧЕТНЫМ КОМБИНАЦИЯМ

4.1 Данный способ дает возможность одновременно и достаточно точно учесть влияние свободных поверхностей как на больших, так и на малых углах крена. При этом обеспечивается небольшой запас остойчивости.

Корректировка диаграммы производится условно на малых углах крена (до угла крена $\theta = 10°$) по соответствующей расчетной комбинации цистерн с суммарной поправкой $\sum_j \sum_k \Delta m_h$, а на больших ($\theta \geqslant 30°$) — по комбинации $\sum_j \sum_k \Delta M_{30}$.

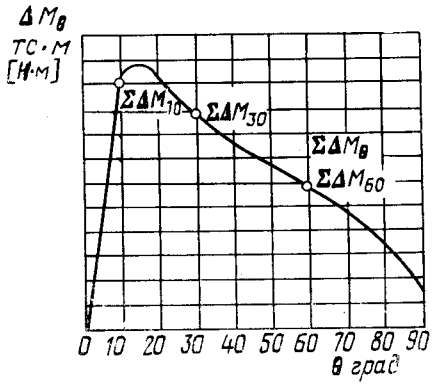


Рис. 4.3.1. Построение кривой поправок $\Sigma_\Delta M_\theta$ в функции углов крена

4.2 Поправка к начальной метацентрической высоте определяется для расчетной комбинации цистерн, выбранной согласно указаниям 1.3 по наибольшему значению, подсчитанному по формуле (1.4.1.1). Исправленная метацентрическая высота определяется по формуле (1.5.1).

4.3 Исправленные плечи статической и динамической остойчивости определяются согласно указаниям 1.5.2 и 1.5.3 для расчетной комбинации цистерн, выбранной по указаниям 1.3 по наибольшему значению $\sum_j \sum_k \Delta M_{30}$, подсчитанному по формуле (1.4.2.1).

Поправки к плечам статической остойчивости $\sum \Delta l_\theta$ (см. 1.5.2) определяются по формуле (3.3.2-1), а входящие в формулу (3.3.2-1) величины $\sum \Delta M_\theta$ — указанным ниже графическим способом (см. 4.3.1).

4.3.1 Для углов крена 10°, 30° и 60° подсчитываются суммарные поправки $\sum \Delta M_{10}$, $\sum \Delta M_{30}$ и $\sum \Delta M_{60}$, которые наносятся на график (рис. 4.3.1).

Точка $\sum \Delta M_{10}$ соединяется с началом координат прямой. Нанесенные три точки соединяются плавной кривой, касающейся упомянутой прямой в точке $\sum \Delta M_{10}$.

С полученной кривой снимаются расчетные значения $\sum \Delta M_\theta$, входящие в формулу (3.3.2-1).

Поправки $\sum \Delta M_{10}$ (поправочный момент от переливания жидкости при крене $\theta = 10°$) в тс·м [Н·м] определяются по формуле

$$\sum \Delta M_{10} = 0{,}174 \sum_j \sum_k \Delta m_h;$$

$$\left[\sum \Delta M_{10} = 1{,}74 \sum_j \sum_k \Delta m_h \cdot 10^3\right], \qquad (4.3.1\text{-}1)$$

где $\sum_j \sum_k \Delta m_h$ — суммарная поправка для начальной остойчивости, подсчитанная согласно 1.3.2, 2.3.1 и 2.3.2.

Поправки $\sum \Delta M_{30}$ и $\sum \Delta M_{60}$ подсчитываются по расчетной комбинации для больших углов крена согласно 1.3.2 (в тс·м) [в Н·м]. Поправки отдельных цистерн ΔM_{30}, входящие в $\sum \Delta M_{30}$, определяются по формуле (1.4.2.1), а поправки ΔM_{60}, входящие в $\sum \Delta M_{60}$ — по формуле

$$\Delta M_{60} = \bar{l}_{60} \gamma v_т b_т k_l \sqrt{C_b} \; ;$$

$$\left[\Delta M_{60} = 10 \bar{l}_{60} \gamma v_т b_т k_l \sqrt{C_b} \cdot 10^3\right], \qquad (4.3.1\text{-}2)$$

где безразмерный коэффициент $\bar{l}_{60}$ определяется по графику рис. 1.4.2, а остальные величины расшифрованы в формуле (1.4.2.1).

Примечание. Для плоских цистерн с отношением $b_т/a_т \geqslant 5{,}7$ применение метацентрической формулы (4.3.1-1) обеспечивает при определении ΔM_{10} некоторый дополнительный запас остойчивости, который тем больше, чем больше отношение $b_т/a_т$. Значения ΔM_{10} могут быть уточнены, как указано в разд. 5.

4.3.2 Для корректировки диаграмм с большим углом заката по усмотрению конструктора кривая $\sum \Delta M_\theta$ может быть уточнена определением еще одной точки $\sum \Delta M_{90}$ способом, указанным в 5.3.1. Это может оказаться целесообразным, когда лимитирующим является норматив по критерию погоды, определяемому по углу опрокидывания.

5. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОГЛАСНО ИНСТРУКЦИИ ПО ПРИЕМУ И РАСХОДОВАНИЮ ЖИДКИХ ГРУЗОВ

5.1 По усмотрению конструкторского бюро может быть выпущена упомянутая в 1.4.8.1 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г. Инструкция по приему и расходованию жидких грузов. Выпуск такой Инструкции не является обязательным и может быть предпринят конструкторским бюро в целях реализации запаса остойчивости, заложенного в приведенных выше способах расчетных комбинаций. Учет свободных поверхностей в соответствии с этой Инструкцией производится наиболее точно.

Для случаев эксплуатации судна с неполными запасами при наличии запрессованных, частично заполненных и полностью опорожненных цистерн в расчет включаются все частично заполненные учитываемые цистерны всех видов жидкого груза.

Если при перевозке какого-либо определенного вида жидкого груза окажутся только запрессованные или опорожненные цистерны, то в расчет поправок должны быть включены либо

запрессованные цистерны, из которых начинается дальнейшее расходование груза, либо пустые, которые опорожнялись последними. В расчет включаются первое и второе из указанных сочетаний этого вида жидкого груза, в зависимости от того, какое из них дает большую поправку.

Перекачка жидких грузов из цистерны в цистерну должна рассматриваться и учитываться как прием или расходование жидкого груза.

Для случая нагрузки с полными запасами, когда одни цистерны полностью запрессованы, а другие порожние, в расчет включаются те запрессованные цистерны всех видов жидкого груза, содержимое которых предусматривается расходовать в первую очередь и одновременно. Порожние цистерны не учитываются.

5.2 Исправленная метацентрическая высота определяется для фактической комбинации цистерн по формуле (1.5.1).

5.3 Исправленные плечи статической остойчивости определяются по формулам (1.5.2) и (3.3.2-1).

5.3.1 Входящую в формулу (3.3.2-1) величину ΔM_θ (в тс·м) для отдельных цистерн, включаемых в число учитываемых согласно Инструкции по приему и расходованию жидких грузов, рекомендуется определять по формуле

$$\Delta M_\theta = \overline{l}_\theta v_\tau b_{\tau\gamma} \sqrt{C_b};$$

$$\left[\Delta M_\theta = 10\overline{l}_\theta v_\tau b_{\tau\gamma} \gamma_{\overline{l}_\theta} \sqrt{C_b} \cdot 10^3\right], \qquad (5.3.1)$$

где безразмерный коэффициент l_θ определяется по графику рис. 1.4.2.

Примечание. Для цистерн специфической конфигурации значения ΔM_θ по формуле (5.3.1) могут быть уточнены с согласия конструктора: для $\theta = 10°$, пользуясь указаниями 2.3.2, а для остальных углов крена — 1.4.2.

5.3.2 Допускается также определять величины Δl_θ и ΔM_θ способами, указанными в разд. 2, 3 и 4.

5.4 Исправленные плечи динамической остойчивости определяются обычным численным интегрированием плеч статической остойчивости.

5.5 Для упрощения расчетов (в запас остойчивости по сравнению со способом, указанным в 5.1) допускается выбрать из Инструкции по приему и расходованию жидких грузов две комбинации цистерн для малых и больших углов крена, дающие наибольшие поправки $\sum_j \sum_k \Delta m_h$ и $\sum_j \sum_k \Delta M_{30}$, и распространить их на все типовые случаи нагрузки. Тогда учет свободных поверхностей будет отличаться от приведенного в 1.3.1 только выбором расчетной комбинации цистерн. Поэтому поправки к метацентрической высоте и к плечам статической остойчивости следует определять так же, как указано в предыдущих параграфах.

6. НАЛИВНЫЕ СУДА-РАЗДАТЧИКИ И ГРУЗОВЫЕ СУДА С ЖИДКИМ БАЛЛАСТОМ В ТРЮМАХ

6.1 Поправки на влияние всех свободных поверхностей в грузовых танках наливных судов-раздатчиков и балласта в трюмах грузовых судов производятся способами, указанными ниже, и суммируются с поправками на влияние свободных поверхностей судовых запасов и балласта.

6.2 Определение поправок на влияние свободных поверхностей и в этих случаях рекомендуется производить способами, приведенными выше для судовых запасов и балласта.

Если полученные таким способом поправки существенно превышают поправки от расчетной комбинации цистерн судовых запасов и балласта, то расчет целесообразно уточнить применительно к фактическому заполнению танков или трюмов (см. 3.2.2 и 3.5.2 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, 1977 г.).

6.3 Уточненный расчет рекомендуется производить общепринятым в теории корабля способом по равнообъемным наклонениям танка или трюма при их фактическом заполнении. Количество шпангоутов, по которым производится кренование, и их расположение устанавливается в соответствии с особенностями конфигурации трюма или танка. Если танк или трюм имеет значительные ступеньки или выгородки, то расчетные шпангоуты должны быть проведены по их границам.

6.4 Определение поправок ΔM_θ (в тс·м) [в Н·м] для танка или трюма производится по известной в теории корабля формуле

$$\Delta M_\theta = \triangle \Delta l_\theta = \gamma \left(\sin\theta \int_0^\theta i_\theta \sin\theta \, d\theta + \cos\theta \int_0^\theta i_\theta \cos\theta \, d\theta \right);$$

$$\left[\Delta M_\theta = 10 \triangle \Delta l_\theta \cdot 10^3 = 10\gamma \times \right.$$

$$\left. \times \left(\sin\theta \int_0^\theta i_\theta \sin\theta \, d\theta + \cos\theta \int_0^\theta i_\theta \cos\theta \, d\theta \right) \cdot 10^3 \right],$$

где i_θ — момент инерции свободной поверхности, полученный по равнообъемным наклонениям.

6.4.1 Обычно достаточно принимать интервал накренения $\Delta\theta = 10°$.

При резких изменениях величины момента инерции, что характерно для малых и больших заполнений танка или трюма, рекомендуется на участке резкого изменения i_θ уменьшить интервал накренения $\Delta\theta$, построить кривую $i_\theta = f(\theta)$ и взять приведенные ординаты.

6.4.2 Исправленные значения метацентрической высоты и плеч статической и динамической остойчивости определяются по этим поправкам, как указано в 1.5.

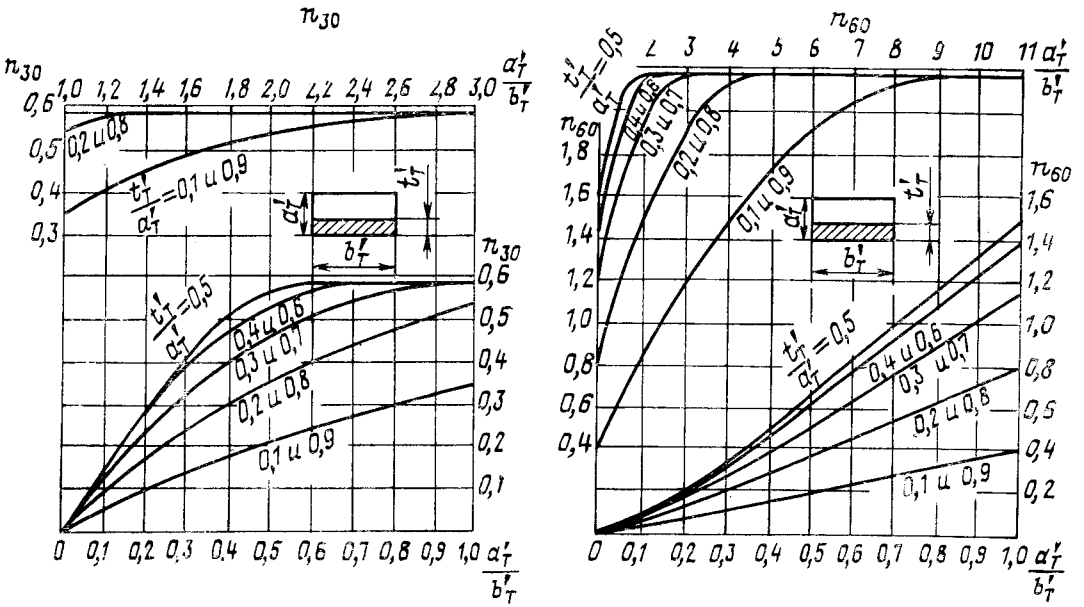


Рис. 6.6. К определению безразмерных коэффициентов n_{30} и n_{60}

6.5 Если танк или трюм имеет проекцию на диаметральную плоскость, близкую к прямоугольнику, и у него нет больших ступеней или выгородок, то для определения поправок на влияние свободных поверхностей допускается пользоваться приближенным способом, указанным ниже, а также другими способами, одобренными Регистром.

6.6 По грузовому размеру танка или трюма, либо другим достаточно точным способом определяется положение свободной поверхности, форма которой приближенно заменяется трапецией, как указано на рис. 2.4-1. Далее вычисляются: по формуле (2.4) момент инерции i_0, по формуле (2.3.2) поправка Δm_h и по формуле (2.2.1) поправка Δh.

С чертежа общего расположения снимаются: длина $c_т$, средняя высота $a'_т$ и глубина заполнения $t'_т$ танка или трюма.

Величины $a'_т$ и $t'_т$ принимаются без учета отдельных небольших углублений, например, льял.

Приведенная расчетная ширина $b'_т$ (в м) определяется по формуле

$$b'_т = 2{,}29 \sqrt[3]{\frac{i_0}{c_т}}, \qquad (6.6\text{-}1)$$

поправка ΔM_{30} (в тс·м) [Н·м] — по формуле

$$\Delta M_{30} = n_{30} i_0 \gamma;$$

$$[\Delta M_{30} = 10 n_{30} i_0 \gamma \cdot 10^3], \qquad (6.6\text{-}2)$$

где безразмерный коэффициент n_{30} определяется в зависимости от отношений $a'_т/b'_т$ и $t'_т/a'_т$ по графику рис. 6.6,

а поправка ΔM_{60} (в тс·м) [Н·м] — по формуле

$$\Delta M_{60} = n_{60} i_0 \gamma;$$

$$[\Delta M_{60} = 10 n_{60} i_0 \gamma \cdot 10^3], \qquad (6.6\text{-}3)$$

n_{60} находится по графику рис. 6.6.

7. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В МАТЕРИАЛАХ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ

7.1 Здесь приведены различные способы учета влияния свободных поверхностей в основных материалах Информации: предельные кривые (статических моментов, возвышений ЦТ или метацентрической высоты) и универсальные диаграммы остойчивости.

Для учета свободных поверхностей в Информации, как и при построении диаграмм остойчивости, предусмотрены различные более или менее точные и соответственно простые или более сложные способы.

Выбор того или иного способа производится по усмотрению конструктора. По согласованию с Регистром допускается применение и других способов учета свободных поверхностей.

7.2 Учет свободных поверхностей в диаграммах предельных кривых может быть осуществлен двумя принципиально различными способами:

.1 введением соответствующих поправок в значения возвышения метацентра и плеч остойчивости формы исходных диаграмм, по которым строятся предельные кривые;

.2 искусственным увеличением статического момента веса судна на величину суммарной поправки $\sum \Delta m_n$, что эквивалентно искусственному возвышению ЦТ жидких грузов. Здесь Δm_n — поправка к статическому моменту веса жидкости по высоте в отдельной учитываемой цистерне.

7.3 Способ введения поправок через плечи формы не позволяет учесть произвольную комбинацию цистерн (в этом случае для каждой комбинации цистерн следовало бы строить свои предельные кривые), однако он полностью освобождает капитана от определения поправок на влияние свободных поверхностей.

Поэтому указанный способ целесообразно применять для судов с небольшим количеством цистерн, а также для судов с большим запасом остойчивости. Учет следует производить применительно к расчетным комбинациям, указанным в 1.3. Значения поправок $\sum \Delta l_\theta$ подсчитываются по формуле (3.3.2-1).

7.4 Способ учета влияния свободных поверхностей через статический момент веса судна обеспечивает возможность учета любой произвольной комбинации цистерн путем суммирования соответствующих поправок отдельных цистерн.

Для этой цели в Информации приводится таблица поправок для всех учитываемых цистерн.

Поправка Δm_n отдельной цистерны может иметь различные значения в зависимости от проверяемого норматива остойчивости.

Ниже приводятся различные способы определения поправок Выбор того или иного способа должен быть согласован со способом, принятым для учета свободных поверхностей при построении диаграмм остойчивости для типовых случаев нагрузки. В противном случае показатели остойчивости, полученные по предельным кривым Информации, будут существенно отличаться от непосредственных расчетов для типовых случаев нагрузки.

7.4.1 В простейшем случае при выполнении расчетов по указаниям разд. 2 для всех нормативов в качестве поправки Δm_n принимается одна поправка Δm_h, определяемая по формуле (1.4.1.1) или (2.3.2).

7.4.2 При выполнении расчетов по указаниям разд. 3 для всех нормативов в качестве поправки Δm_n (в тс·м) [Н·м] принимается поправка

$$\Delta m_{30} = 2\,\Delta M_{30};$$

$$[\Delta m_{30} = 20\,\Delta M_{30} \cdot 10^3]. \qquad (7.4.2)$$

7.4.3 При выполнении расчетов по указаниям разд. 4 и 5 предусматриваются три поправки Δm_n соответственно по трем группам нормативов: Δm_h — для начальной метацентрической высоты (включая аварийную), нормируемых углов статического крена пассажирских судов и плавкранов, а также для углов крена при несимметричном аварийном затоплении; Δm_{30} — для критерия погоды и требований к максимальному плечу диаграммы статической остойчивости и к углу крена, соответствующему положению максимального плеча диаграммы; Δm_{60} — для углов заката диаграммы статической остойчивости.

Поправка Δm_h определяется по указаниям разд. 2; Δm_{30} — по формуле (7.4.2), а ΔM_{30} вычисляется по формуле (1.4.2.1). Поправка Δm_{60} (в тс·м) [Н·м] определяется по формуле

$$\Delta m_{60} = 1{,}15\,\Delta M_{60};$$

$$[\Delta m_{60} = 11{,}5\,\Delta M_{60} \cdot 10^3]. \qquad (7.4.3)$$

7.4.4 Проверку остойчивости по предельным кривым следует производить по поправке $\sum \Delta m_n$, отвечающей тому нормативу, по которому проведены предельные кривые для рассматриваемого диапазона водоизмещения. Соответствующие диапазоны должны быть указаны в таблице поправок.

7.4.5 Если судно по какому-либо нормативу спроектировано с большим запасом остойчивости, то таблицу поправок Δm_n по этому нормативу можно не приводить.

7.4.6 Для малых судов, для которых практически возможны только одна или две расчетные комбинации, предельные кривые можно опустить эквидистантно на величину, соответствующую суммарной поправке.

7.5 При учете свободных поверхностей в танках наливных судов раздатчиков и жидкого балласта в трюмах грузовых судов поправку Δm_{30} уже нельзя распространять на критерий погоды, а следует ввести дополнительную поправку $\Delta m_{d\theta}$ (в тс·м) [Н·м], определяемую по формуле

$$\Delta m_{d\theta} = \frac{\Delta A_{d\theta}}{1 - \cos\theta}, \qquad (7.5\text{-}1)$$

в которой

$$\Delta A_{d\theta} = \int_0^{\theta} \Delta M_\theta \, d\theta. \qquad (7.5\text{-}2)$$

Угол крена θ можно приближенно принять равным 45° или близким к углу заливания или опрокидывания для большинства расчетных типовых случаев нагрузки.

7.6 Различные виды универсальных диаграмм статической или динамической остойчивости, представляющих собой два семейства кривых, из которых одно зависит от водоизмещения судна,

а другое — от возвышения его ЦТ или метацентрической высоты, корректируются поправками ΔZ_{gn} или Δh_n, определяемыми по формуле (в м)

$$\Delta Z_g = \Delta h_n = \frac{\sum \Delta m_n}{\Delta}. \qquad (7.6)$$

7.6.1 В частности, уточненная корректировка универсальных диаграмм статической остойчивости производится тремя поправками (Δh, Δh_{30} и Δh_{60}), определяемыми по формуле (7.6) для трех значений θ: 10, 30 и 60°. По этим значениям $\sum \Delta h_n$ на универсальной диаграмме (см. рис. 7.6.1) наносятся три точки ($h_0 - \sum \Delta h$; 10°), ($h_0 - \sum \Delta h_{30}$; 30°) и ($h_0 - \sum \Delta h_{60}$; 60°), которые соединяются плавной кривой, проходящей через начало координат.

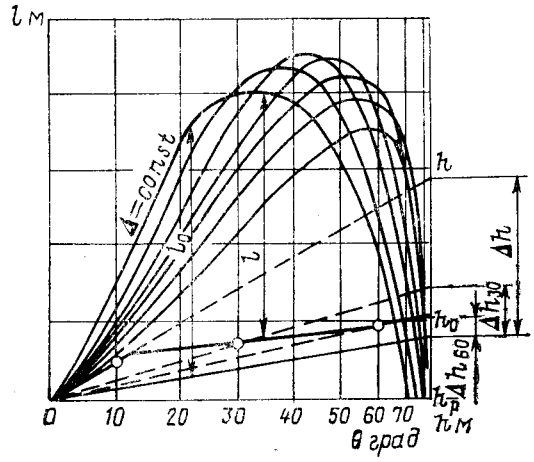


Рис. 7.6.1. Универсальная диаграмма статической остойчивости

УДК 629.12 : 532.321

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДОВ НА ПОПУТНОМ ВОЛНЕНИИ

Расчеты остойчивости судов на попутном волнении, выполненные в соответствии с Методикой, должны представляться в Главное управление Регистра (ГУР) в составе технического проекта для последующего контроля и анализа действенности предлагаемых критериев.

Судно, движущееся полным ходом на попутном волнении, должно выдерживать действие ветрового шквала. При этом наименьшее значение метацентрической высоты, вычисленное с уче-

том попутного волнения, во избежание опасных углов крена, вызванных снижением остойчивости судна, должно быть положительным.

Если критерии методики не удовлетворяют по каким-либо соображениям, следует определить наибольшую допустимую скорость хода судна на попутном волнении и записать ее в Информацию об остойчивости в качестве рекомендации капитану.

1. ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТОДИКИ. ОБОЗНАЧЕНИЯ

Приведенные ниже критерии и методика расчета применимы для имеющих палубу промысловых, рыболовных, сухогрузных, наливных судов длиной от 20 до 60 м со следующими характеристиками:

$$\frac{L}{B}=3{,}20-7{,}50;\quad \frac{B}{\alpha}=2{,}00-3{,}80;$$

$$\frac{C_B}{\alpha}=0{,}55-0{,}95;\quad \frac{C_B}{\beta}=0{,}55-0{,}85;\quad \mathrm{Fr}=\frac{V}{\sqrt{gL}}=0{,}15-0{,}36;$$

где L — длина судна по грузовую ватерлинию; B — ширина судна по грузовую ватерлинию; V — наибольшая скорость хода судна, м/с, при осадке по летнюю грузовую марку; α — коэффициент полноты ватерлинии; β — коэффициент полноты мидель-шпангоута; C_B — коэффициент общей полноты судна.

Остойчивость судна на попутном волнении проверяется для наихудших с точки зрения остойчивости случаев загрузки без учета обледенения из числа регламентируемых частью IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов.

2. КРИТЕРИИ

Остойчивость судна на попутном волнении считается достаточной, если удовлетворяются требования: $0{,}6M_v \leqslant (M_c)_w$, $(h_0)_{\min} \geqslant 0$, где M_v — кренящий момент от давления ветра, определяемый, как указано в 2.1.2 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов, для неограниченного района плавания, тс·м [Н·м]; $(M_c)_w$ и $(h_0)_{\min}$ — минимальный опрокидывающий момент, тс·м [Н·м], и наименьшее значение начальной метацентрической высоты, м, на попутном волнении (см. 3.3 и 3.4).

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

3.1 Выбор расчетной волны.

За расчетную принимается такая волна, длина которой λ равна длине судна, а крутизна (отношение высоты волны к ее длине) h_w/λ принимается по табл. 1 в зависимости от длины.

Таблица 1

λ м	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
h_w/λ	0,108	0,100	0,093	0,089	0,084	0,081	0,078	0,075	0,073	0,069	0,065	0,062	0,060

3.2 Расчет диаграмм статической и динамической остойчивости на вершине и подошве волны.

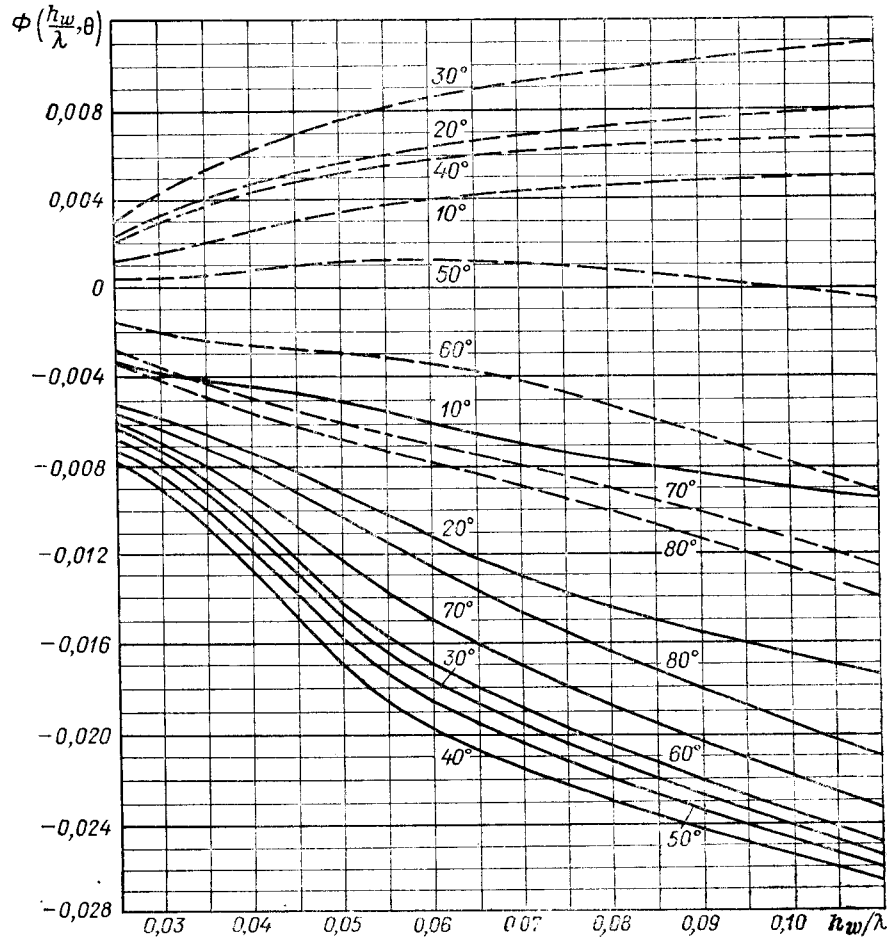


Рис. 3.2. Функции статической остойчивости судна θ:
на подошве волны (– – –) и на вершине (———)

Таблица 2

$f_i'(\theta)$	Значения коэффициентов $f_i'(\theta)=f_i(\theta)\times 10^2$ при положении судна на вершине волны							
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$f_1'(\theta)$	−0,200	−0,360	−0,450	−0,380	−0,300	−0,250	−0,240	−0,220
$f_2'(\theta)$	−0,350	−0,850	−1,030	−0,730	−0,360	−0,300	−0,330	−0,400
$f_3'(\theta)$	1,700	2,340	2,400	1,560	1,100	0,900	0,820	0,900
$f_4'(\theta)$	0,400	0,700	1,000	1,480	1,880	2,000	2,000	1,930
$f_5'(\theta)$	1,920	2,680	3,580	4,500	4,960	4,400	3,900	3,600
$f_6'(\theta)$	2,600 −2,740	4,700 −3,600	5,000 −2,860	4,200 −2,200	3,600 −1,860	3,400 −1,740	3,400 −1,650	3,510 −1,600
$f_7'(\theta)$	0,050	0,090	0,105	0,070	0,016	0	−0,020	0
$f_8'(\theta)$	−0,080	−0,130	−0,096	−0,032	−0,006	0	−0,030	−0,080
$f_9'(\theta)$	1,000	1,500	1,980	1,710	1,260	1,120	1,060	1,100
$f_{10}'(\theta)$	−0,400	−3,800	−12,000	−26,000	−37,200	−40,800	−40,000	−38,500
$f_{11}'(\theta)$	1,830	2,370	2,020	1,670	1,480	1,400	1,360	1,340
$f_{12}'(\theta)$	−0,500	−0,900	−1,080	−0,800	−0,520	−0,400	0,340	−0,300
$f_{13}'(\theta)$	−2,440	−2,700	−1,800	−0,800	−0,260	0	0	−0,020
$f_{14}'(\theta)$	−0,440	−0,800	−0,880	−0,640	−0,500	−0,480	−0,530	−0,600

Продолжение табл. 2

$f'_i(\theta)$	Значения коэффициентов $f'_i(\theta)=f_i(\theta)\times 10^2$ при положении судна на подошве волны							
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$f'_1(\theta)$	0,016	0,040	0,078	0,138	0,164	0,150	0,120	0,110
$f'_2(\theta)$	0,110	0,137	0,090	—0,030	—0,070	—0,120	—0,150	—0,170
$f'_3(\theta)$	0,700	1,300	1,820	2,180	2,560	2,700	2,700	2,630
$f'_4(\theta)$	—0,700	—1,100	—1,260	—1,030	—0,800	—0,700	—0,680	—0,700
$f'_5(\theta)$	—0,300	—0,600	—0,780	—0,700	—0,560	—0,500	—0,470	—0,500
$f'_6(\theta)$	0,570	1,120	1,580	1,570	1,180	1,000	0,900	0,850
$f'_7(\theta)$	0	—0,050	—0,140	—0,070	—0,020	0	0	0
$f'_8(\theta)$	0,050	0,032	0,014	0,006	0,003	0	0	0
$f'_9(\theta)$	0,180	0,780	1,300	1,640	1,800	1,780	1,620	1,500
$f'_{10}(\theta)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$f'_{11}(\theta)$	—1,160	—1,630	—1,840	—1,830	—1,600	—1,460	—1,400	—1,350
$f'_{12}(\theta)$	0,100	0,700	—1,100	—1,350	—2,200	—3,650	2,000	—2,400
$f'_{13}(\theta)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$f'_{14}(\theta)$	$\frac{-1,470}{0,780}$	$\frac{-2,290}{1,550}$	$\frac{-2,540}{1,930}$	$\frac{-2,530}{1,750}$	$\frac{-2,300}{1,280}$	$\frac{-2,150}{1,020}$	$\frac{-2,100}{0,920}$	$\frac{-2,050}{0,900}$

Примечание. Функции в числителе принимаются при $Fr < 0{,}28$, а в знаменателе — при $Fr > 0{,}28$. Функция $f_7(\theta)$ учитывается только при $L/B<4{,}82$, а функции $f_6(\theta)$ и $f_{14}(\theta)$ при $L/B>7{,}00$ следует принимать равными нулю, так как в этом случае скорость не влияет на остойчивость.

Плечи статической остойчивости судна при положении на вершине и подошве расчетной волны l_w определяются путем исправления на влияние попутного волнения плеч (в м) статической остойчивости на тихой воде

$$l_w = l + \delta l,$$

где $$\delta l = B\left[\Phi\left(\frac{h_w}{\lambda}, \theta\right) + \sum_{i=1}^{14} A_i f_i(\theta)\right];$$

$\Phi\left(\frac{h_w}{\lambda}, \theta\right)$ и $f_i(\theta)$ — функции, определяемые по рис. 3.2 и табл. 2 на вершине и подошве волны.

Величины A_i $(A_1 \ldots A_{14})$ имеют следующие значения:

$$A_1 = \frac{L}{B} - 4{,}820; \quad A_5 = \frac{C_B}{\beta} - 0{,}692; \quad A_{11} = A_6^2;$$

$$A_2 = \frac{B}{d} - 2{,}670; \quad A_6 = \frac{v}{\sqrt{gL}} - 0{,}280; \quad A_{12} = A_2 \cdot A_3;$$

$$A_3 = \frac{D}{d} - 1{,}300; \quad A_7 = A_1^2; \quad A_9 = A_3^2; \quad A_{13} = A_2 \cdot A_4;$$

$$A_4 = \frac{C_B}{\alpha} - 0{,}700; \quad A_8 = A_2^2; \quad A_{10} = A_5^2; \quad A_{14} = A_1 \cdot A_6.,$$

где d — осадка судна по грузовому размеру; D — высота борта.

По полученным диаграммам статической остойчивости строятся диаграммы динамической остойчивости на вершине и подошве волны.

3.3 Определение $(M_c)_w$.

Значение $(M_c)_w$ (в тс·м) [Н·м] вычисляется по формуле:

$$(M_c)_w = 0{,}75\left\{(M_c)_{\min} + \frac{\delta M}{2}\left[(M_c)_{\max} - (M_c)_{\min}\right]\right\};$$

$$\left[(M_c)_w = 750\left\{(M_c)_{\min} + \frac{\delta M}{2}\left[(M_c)_{\max} - (M_c)_{\min}\right]\right\}\right];$$

$$\delta M = 0{,}27\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w + 8{,}13\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w^2 - 11{,}04\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w^2;$$

$$\left[\delta M = \left\{0{,}27\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w + 8{,}13\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w^2 - 11{,}04\,(\delta\,\mathrm{Fr})_w^2\right\} \cdot 10^3\right];$$

$$(\delta\,\mathrm{Fr})_w = 0{,}40 - \frac{v}{\sqrt{gL}};$$

$(M_c)_{\min}$ и $(M_c)_{\max}$ — опрокидывающие моменты на вершине и подошве волны соответственно (в тс·м) [Н·м] находятся с помощью диаграмм динамической остойчивости, построенных по указаниям 3.2.

На рис. 3.3 показано определение $(M_c)_{\min}$ и $(M_c)_{\max}$. Из начала координат проводятся касательные к диаграммам динамической остойчивости на вершине (кривая *1*) и подошве волны (кривая *2*) и откладывается отрезок OA, равный 1 рад. Из точки A

восстанавливается перпендикуляр до пересечения с касательными в точках B и C. Отрезки AB и AC равны плечам опрокидывающих моментов на вершине и подошве волны. Величины моментов (в тс·м) [Н·м] вычисляются как произведения:

$$(M_c)_{min}=\Delta\overline{AB};\quad (M_c)_{max}=\Delta\overline{AC},$$

где Δ — водоизмещение судна (в тс) [Н].

На рис. 3.3 показано, как определяются плечи опрокидывающих моментов в случае обрыва диаграмм при угле заливания, когда из начала координат проводятся лучи через точки обрыва

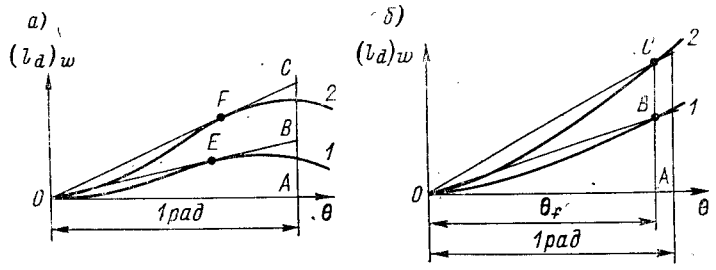


Рис. 3.3. К определению $(M_c)_{min}$ (*а*) и $(M_c)_{max}$ (*б*).
1 — судно на вершине волны; *2* — на подошве

диаграмм. В остальном определение плеч моментов и самих моментов проводится аналогично описанному выше.

Если вычисленное значение Fr окажется меньше 0,23 ($Fr < 0{,}23$), то расчет величины δM следует вести для $Fr = 0{,}23$.

3.4 Определение $(h_0)_{min}$.

Наименьшее значение начальной метацентрической высоты на попутном волнении (в м) вычисляется по формуле

$$(h_0)_{min}=h_0+5{,}73\,(\delta l_{min})_{10°},$$

где $(\delta l_{min})_{10°}$ — приращение плеча статической остойчивости на вершине волны при угле $\theta = 10°$, определенное по указаниям 3.2.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАИБОЛЬШЕЙ ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ХОДА СУДНА НА ПОПУТНОМ ВОЛНЕНИИ

Для построения зависимости опрокидывающего момента от скорости хода необходимо рассчитать дополнительно ряд значений $(M_c)_w$, соответствующих различным скоростям хода. Поскольку кривая $(M_c)_w = f(v)$ достаточно пологая, легко найти

величину опрокидывающего момента при скоростях хода, равных $v/2$ и нулю. При этом, если $Fr < 0{,}23$, то расчет следует выполнять, считая $Fr = 0{,}23$.

Следует иметь в виду, что увеличение $(h_0)_{min}$ при снижении скорости хода происходит только до числа $Fr = 0{,}28$. При дальнейшем снижении скорости $(h_0)_{min}$ начинает уменьшаться до $Fr = 0{,}23$, после чего сохраняет постоянное значение. Поэтому, если $(h_0)_{min} < 0$, а $Fr > 0{,}28$, следует произвести расчет для нескольких значений скорости и установить предельное ее значение. Если до $Fr = 0{,}28$ требование к $(h_0)_{min}$ не удовлетворяется, то дальнейшее снижение скорости не приведет к достижению этого критерия.

УДК 662.753 : 621.181

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ РЕГИСТРОМ СССР К ПРИМЕНЕНИЮ СЫРОЙ НЕФТИ И ОСТАТКОВ НЕФТЯНОГО ГРУЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЛОВ НА НЕФТЕНАЛИВНЫХ СУДАХ

Настоящие требования изложены в виде дополнения к разд. 8 «Топливная система» ч. VIII «Системы и трубопроводы» Правил классификации и постройки морских судов. Выполнение этих требований является обязательным при использовании сырой нефти и остатков нефтяного груза в качестве топлива для котлов на нефтеналивных судах.

1. ПРИМЕНЕНИЕ СЫРОЙ НЕФТИ И ОСТАТКОВ НЕФТЯНОГО ГРУЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЛОВ НА НЕФТЕНАЛИВНЫХ СУДАХ

1.1 На нефтеналивных судах в качестве топлива для главных и вспомогательных котлов может использоваться сырая нефть или остатки груза в соответствии с требованиями, изложенными в данной главе.

Для этого должны быть представлены Регистру СССР на одобрение чертежи общего расположения установки со схемой трубопроводов и предохранительных устройств.

1.2 Прием сырой нефти или остатков нефтяного груза должен производиться из грузовых, сливных или специальных цистерн, установленных в районе грузовых цистерн. Они должны отделяться от газобезопасных районов коффердамами с газонепроницаемыми переборками.

1.3 Должна быть доказана пригодность конструкции котлов и форсунок для работы на сырой нефти.

Наружный кожух котлов должен быть газонепроницаемым по отношению к МО.

Сами котлы должны быть испытаны на газонепроницаемость до ввода их в эксплуатацию.

Вся система насосов, фильтров, сепараторов и подогревателей, если таковые имеются, должна быть установлена в грузовом

насосном или каком-либо другом помещении, которое считается опасным, и отделяется от МКО газонепроницаемыми переборками.

Если предусматривается подогрев сырой нефти с помощью пара или горячей воды, отводные трубы греющих змеевиков должны быть выведены в отдельную контрольную цистерну, установленную вместе с упомянутым выше оборудованием.

Эта закрытая контрольная цистерна должна быть снабжена воздушной трубой, выведенной на открытую палубу в безопасное место в соответствии с требованиями 5.2.9 части VIII «Системы и трубопроводы»[1], предъявляемыми к нефтеналивным судам. Выходное отверстие воздушной трубы должно быть оборудовано легкосъемной пламяпрерывающей арматурой.

1.4 Расположение приводных двигателей насосов, сепараторов и т. д. должно соответствовать требованиям, изложенным в 1.13.6 части VII «Механические установки».

1.5 Насосы должны быть оборудованы предохранительными клапанами с отводом нефти во всасывающую полость насоса или всасывающую часть трубопровода.

Должна быть предусмотрена возможность дистанционной остановки насосов с поста, расположенного вблизи фронта котлов или из ЦПУ, а также извне МО.

1.6 При необходимости подогрева сырой нефти или остатков груза их температура должна автоматически регулироваться; при этом должен быть установлен сигнализатор превышения температуры.

1.7 Толщины стенок трубопроводов сырой нефти или остатков груза, а также сточных труб от поддонов, указанных в 1.9, должны соответствовать приведенным в графе 5 табл. 1.3.4 части VIII «Системы и трубопроводы».

Число соединений этих труб должно быть минимальным. Соединения труб должны быть фланцевого типа, отвечающими требованиям табл. 1.3.7.3 части VIII «Системы и трубопроводы».

Указанные трубопроводы по всей их длине в районе машинного и котельного помещений должны быть проложены в металлическом канале, который должен быть газонепроницаемым и плотно присоединяться к переборке насосного отделения и далее к упомянутому выше поддону.

Такой канал с проходящим внутри трубопроводом должен иметь подъем в сторону котла, чтобы при падении давления подачи топлив или его утечке топливо самотеком возвращалось в насосное отделение.

Кроме того, канал должен быть установлен от внутренней обшивки борта на расстоянии не менее одной пятой (20%) ширины судна на миделе.

---

[1] Здесь и далее имеются в виду Правила классификации и постройки морских судов Регистра СССР.

Канал должен иметь газонепроницаемые смотровые устройства с газонепроницаемыми крышками в районе соединений труб, расположенных внутри канала, а также автоматическое закрывающееся устройство осушения, расположенное в насосном помещении и установленное так, чтобы при возможной протечке сырая нефть направлялась в насосное помещение.

Сточная цистерна, указанная в 1.9, должна быть снабжена указателями уровня с соответствующей сигнализацией о появлении протечек.

Кроме того, в самой верхней части этого канала должна быть установлена воздушная труба, выведенная на открытую палубу в безопасное место в соответствии с требованиями 5.2.9 части VIII «Системы и трубопроводы», предъявляемыми к нефтеналивным судам. Выходное отверстие воздушной трубы должно быть оборудовано легкосъемной пламяпрерывающей арматурой.

Канал должен быть постоянно подключен к системе инертного газа или к системе подачи пара с тем, чтобы была обеспечена возможность:

— ввода инертного газа или пара в случае пожара или утечки;

— продувки канала до начала работы в случае утечки топлива.

1.8 Трубопроводы подачи и возврата нефти в районе переборки, к которой присоединяется канал, упомянутый в 1.7, должны быть оборудованы со стороны насосного отделения запорными клапанами с дистанционным управлением с поста вблизи фронта котлов или ЦПУ.

Эти клапаны должны быть сблокированы с вытяжными вентиляторами канала, упомянутыми в 1.10 для обеспечения работы вентиляторов в период подачи сырой нефти.

1.9 Котлы должны быть снабжены поддонами или сточными желобами высотой не менее 200 мм, расположенными таким образом, чтобы в них собирались все возможные утечки топлива от форсунок, клапанов и соединений.

Поддоны и сточные желоба должны быть оборудованы в верхней части легкосъемной пламяпрерывающей арматурой.

Трубы подачи и возврата топлива должны проходить через поддон или сточный желоб с непроницаемым уплотнением и затем присоединяться к топливным коллекторам.

На трубопроводе к каждому коллектору должен быть установлен быстрозапорный контрольный клапан.

Поддон или сточный желоб должен быть оборудован сточной трубой для отвода топлива в сточную цистерну в насосном помещении. Эта цистерна должна снабжаться воздушной трубой, выведенной на открытую палубу в безопасное место. Выходное отверстие воздушной трубы должно быть оборудовано легкосъемной пламяпрерывающей арматурой.

Упомянутая выше сточная труба должна иметь устройство, исключающее возврат газа в котельное или машинное помещение.

1.10 Котлы должны быть снабжены соответствующим кожухом,

установленным таким образом, чтобы он в максимальной степени заключал в себе форсунки, клапаны и топливные трубы, не препятствуя при этом подводу воздуха к соплам форсунки. В случае необходимости кожух должен иметь устройства для осмотра и доступа к топливным трубам и клапанам, расположенным за ним.

Кожух должен иметь канал, выведенный в безопасное место на открытую палубу и снабженный легкосъемной пламяпрерывающей арматурой.

Должно быть предусмотрено не менее двух вытяжных вентиляторов с механическим приводом, имеющих искробезопасные крылатки и предназначенных для поддержания внутри кожуха более низкого давления, чем в котельном помещении. Указанные вытяжные вентиляторы должны быть оборудованы автоматическим устройством, обеспечивающим включение другого вентилятора на случай остановки или выхода из строя работающего.

Двигатели вытяжных вентиляторов должны размещаться вне канала, а для валов должно быть предусмотрено газонепроницаемое уплотнение.

Электрооборудование, устанавливаемое в газоопасных районах или районах, которые могут стать опасными (например, внутри кожуха или канала для трубопроводов сырой нефти), должно быть взрывозащищенного исполнения и признано соответствующим компетентным органом.

1.11 Должна быть предусмотрена, кроме того, возможность подачи к котлам и возврата от них котельного топлива, в связи с чем в котельном помещении должно быть установлено оборудование в соответствии с требованиями 8.10 части VIII «Системы и трубопроводы» и разд. 5 части X «Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением».

Подача котельного топлива к форсункам и возврат от них должны осуществляться с помощью механического блокирующего устройства, автоматически исключающего подачу котельного топлива при работе на сырой нефти, и наоборот.

1.12 Котельные отделения должны быть оборудованы механической вентиляцией, спроектированной таким образом, чтобы избежать образования застойных зон. Вентиляция должна быть особенно эффективна в районе установки электрооборудования, механизмов и других устройств, которые могут быть источником искрообразования. Эта вентиляция должна быть отделена от вентиляции других помещений и удовлетворять требованиям разд. 7 части VIII «Системы и трубопроводы».

1.13 Должно быть предусмотрено устройство обнаружения утечек газа, снабженное датчиками, установленными в канале, упомянутом в 1.7, на кожухе закрытия фронта котлов, в струе от вытяжных вентиляторов и во всех зонах, имеющих возможное снижение эффективности вентиляции.

Вблизи фронта котлов и в ЦПУ должны быть установлены световые предупредительные устройства. Должны быть предусмотрены также звуковые сигналы в МО и ЦПУ.

1.14 Должны быть предусмотрены средства для автоматической продувки котла перед его розжигом.

1.15 Независимо от стационарной противопожарной системы, требуемой в соответствии с Правилами для машинных и котельных помещений, должна быть предусмотрена дополнительная противопожарная установка, обеспечивающая возможность непосредственной подачи одобренного огнегасительного состава к фронту котлов и на поддон, указанный в 1.9.

Подача огнегасительного состава должна автоматически вызывать остановку вытяжных вентиляторов кожуха форсунок (см. также 1.8 и 3.1.2.10 части VI «Противопожарная защита»).

1.16 В хорошо видимом месте вблизи фронта котлов должна быть установлена предупредительная табличка, на которой следует указать, что при наличии взрывоопасных смесей, о чем подается сигнал (см. 1.13), обслуживающий персонал должен немедленно отключить дистанционно управляемые клапаны, установленные в насосном помещении на трубопроводах подачи и возврата сырой нефти, остановить соответствующие насосы, подать инертный газ в канал (см. 1.7) и переключить котлы на работу на обычном мазуте.

1.17 Регистр СССР оставляет за собой право потребовать установку запальной форсунки в дополнение к обычному управлению горением.

ИЗДАНИЯ РЕГИСТРА СССР И ПОРЯДОК ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

С 1977 г. Регистр СССР распространяет основные свои издания по системе постоянных абонентов.

Постоянным абонентом может стать любая организация, предприятие, учебное заведение, библиотека и т. д. Для того чтобы стать постоянным абонентом, достаточно направить в Регистр СССР об этом письмо.

Постоянные абоненты в первую очередь оповещаются о готовящихся к выпуску новых изданиях, а издания, выходящие периодически (см. таблицу), направляются абонентам регулярно без предварительного оповещения.

Некоторые свои материалы Регистр СССР издает небольшими тиражами для использования в основном инспекторским составом либо ограниченным числом организаций по усмотрению Регистра СССР.

О выходе в свет таких материалов постоянным абонентам не сообщается и они им не направляются.

Ниже приводится перечень материалов, издаваемых Регистром СССР, и пояснения о порядке их распространения.

№ п/п	Наименование издания	Пояснения
1	Правила классификации и постройки морских судов	Издание периодическое. Переиздается через 3 года. В период между переизданиями выпускаются бюллетени дополнений и изменений № 1, 2 и 3 Последнее издание было в 1977 г., очередное намечается на 1981 г. Распространяется по системе постоянных абонентов
2	Правила по конвенционному оборудованию морских судов	То же
3	Правила по грузоподъемным устройствам морских судов. Правила по грузовой марке морских судов	„
	Примечание к пп. 1, 2 и 3. Правила издаются также на английском языке и распространяются по отдельным запросам.	
4	Руководство по техническому надзору за судами в эксплуатации	Последнее издание было в 1977 г. Бюллетени дополнений и изменений выпускаются по мере накопления материалов. Переиздание намечается на 1982 г. Распространяется по системе постоянных абонентов

Продолжение

№ п/п	Наименование издания	Пояснения
5	Руководство по техническому надзору за постройкой судов и за изготовлением материалов и изделий	
	Часть 1 Организационные положения по надзору	Изданы отдельной книгой в 1978 г. Предназначены для инспекторского состава Регистра СССР. Отдельным организациям распространяется по усмотрению инспекций Регистра СССР
	Часть 2 Техническая документация	
	Часть 3 Надзор за изготовлением материалов	Издание намечается на 1980 г. Постоянным абонентам не направляется
	Часть 4 Надзор за основными технологическими процессами	
	Часть 5 Надзор за изготовлением изделий для судов	
	Часть 6 Надзор за постройкой судов	
	Включают следующие разделы:	
	5.2 и 6.2 Корпус	Издаются в 1979 г.
	5.3 и 6.3 Устройства, оборудование и снабжение	То же
	5.4 Оборудование противопожарной защиты	Изданы в 1977 г.
	6.4 Противопожарная защита	То же
	5.5 и 6.5 Механизмы	Издаются в 1979 г.
	5.6 Детали валопроводов	То же
	6.6 Валопроводы	»
	5.7 и 6.7 Движители	»
	5.8 и 6.8 Системы и трубопроводы	»
	5.9 и 6.9 Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением	Изданы в 1978 г.
	5.10 и 6.10 Электрическое оборудование	Намечено к выпуску в 1980 г.
	5.11 и 6.11 Холодильные установки	Издаются в 1979 г.
	5.12 и 6.12 Оборудование автоматизации	То же
	5.13 и 6.13 Спасательные средства	Изданы в 1979 г.
	5.14 и 6.14 Сигнальные средства	То же
	5.15 и 6.15 Радиооборудование	Издается в 1979 г.
	5.16 и 6.16 Навигационное оборудование	Издано в 1979 г.
	5.17 Оборудование атомных паропроизводящих установок	То же
	6.17 Атомные паропроизводящие установки	»

Постоянным абонентам не направляются

Продолжение

№ п/п	Наименование издания	Пояснения
6	Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (для Дунайского бассейна)	Изданы в 1978 г. Постоянным абонентам не направляются
7	Регистровая книга морских судов СССР	Издание периодическое. Переиздается через два года. Последнее издание было в 1978 г. Очередное намечается на 1980 г. В период между переизданиями выпускаются дополнения и изменения. Распространяется по системе постоянных абонентов
8	Сборник нормативно-методических материалов Регистра СССР. Книга 1	Издается в 1979 г. Распространяется по системе постоянных абонентов
9	Сборник нормативно-методических материалов Регистра СССР. Книга 2	Намечается к выпуску в 1980 г. Распространяется по системе постоянных абонентов
10	Перечень материалов и изделий, имеющих допуск Регистра СССР (на 1 января 1978 г.)	Издан в 1979 г. Распространяется по специальному списку
11	Правила по предотвращению загрязнения с судов	Намечается к выпуску в 1980 г. Распространяется по системе постоянных абонентов
12	Правила обеспечения безопасности судов с динамическими принципами поддержания	Издаются в 1979 г. По системе постоянных абонентов не распространяются
13	Правила классификации и постройки химовозов	Изданы в 1978 г. По системе постоянных абонентов не распространяются
14	Правила классификации и постройки плавучих буровых установок	Издаются в 1979 г. По системе постоянных абонентов не распространяются
15	Научно-технический сборник	Ежегодное издание. Рассылается по системе постоянных абонентов
16	Инструктивные материалы Регистра СССР	Ежеквартальное издание. Рассылается по системе постоянных абонентов (с выпуска № 69)

Регистр СССР

Сборник нормативно-методических материалов

Ответственный за выпуск *В. И. Кизино*

Редактор издательства *Л. В. Баюнова*

Техн. редактор *Л. И. Тимофеева*

Корректоры: *Э. В. Краснова, Н. С. Софронова*

Сдано в набор 25.12.78. Подписано в печать 17.05.79. М-31059. Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 10,43. Тираж 3000 экз. Изд. № Iк-0/16-3292-458. Заказ 35. Цена 55 коп.

Ленинградское отделение издательства «Транспорт»
190121, Ленинград, ул. Декабристов, 33

Ленинградская типография № 8 ЛПО «Техническая книга» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер. 6.