МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

МЕТОДИКА
РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ АВАРИЙНОГО СУДНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ И СУДОПОДЪЕМЕ

РД 31.72.03-85

Москва·В/О "Мортехинформреклама"
1986

gost.e-ecolog.ru

Руководителям предпр. тий
и организаций ММФ

№ МП 05-5/I5
от 7 январ. I986 г.
О введении в действие
РД 3I.72.03-85

В/О "Мореплавание" утвержден руководящий документ РД 3I.72.03-85 "Методика расчётов прочности аварийного судна при проведении аварийно-спасательных операций и судоподъёме" со сроком введения в действие с 0I.0I.87.

РД 3I.72.03-85 разработан впервые.

РД 3I.72.03-85 устанавливает методику расчётов общей и местной прочности, необходимость выполнения которых может возникнуть при проведении аварийно-спасательных и судоподъёмных работ.

Для внедрения РД 3I.72.03-85 предлагаю:

I. Руководителям предприятий ММФ организующим и выполняющим аварийно-спасательные и судоподъёмные работы при выполнении расчётов общей и местной прочности аварийного судна руководствоваться РД 3I.72.03-85 с 0I.0I.87. Для возможности применения ЭВМ при проведении расчётов приобрести в ОИИМФ программы "ВОЛНА-82" и ACCISHIP и организовать обучение по использованию программ.

I. Ростовскому ЦПКБ подготовить к печати и обеспечить издание до 0I.0I.87 и рассылку РД 3I.72.03-85 заинтересованным предприятиям и организациям ММФ.

3. Контроль за исполнением настоящего письма осуществляет В/О "Мореплавание".

Зам.председателя
В/О"Мореплавание" А.Н. Нордас

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

МЕТОДИКА
РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ АВАРИЙНОГО СУДНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ И СУДОПОД'ЕМЕ

РД 31.72.03–85

Москва·В/О "Мортехинформреклама"
1986

РАЗРАБОТАН Ростовским центральным проектно-конструкторским бюро с опытным производством

Главный инженер В.И. Борисов

Заведующий сектором стандартизации и метрологии И.Н. Шахмейстер

Ответственные исполнители С.М. Паненко

Е.В. Знаменский

СОГЛАСОВАН Центральным научно-исследовательским институтом морского флота

Заместитель директора по научной работе С.Н. Дранишын

Одесским институтом инженеров морского флота

Проректор по научной работе П.С. Никеров

УТВЕРЖДЕН Всесоюзным объединением "Мореплавание"

Заместитель председателя Г.С. Леонтьев

© В/О «МОРТЕХИНФОРМРЕКЛАМА», 1986

Методика расчётов прочности аварийного судна при проведении аварийно-спасательных операций и судоподъёме

РД 31.72.03-85

Вводится впервые

Срок введения в действие установлен с I января 1985 г.

Настоящий руководящий документ (РД) распространяется на расчёты общей и местной прочности судна при подготовке и проведении аварийно-спасательных и судоподъёмных операций.

РД устанавливает методику расчётов общей и местной прочности, необходимость выполнения которых должна определяться конкретными условиями и целью операции.

РД предназначен для инженерно-технических работников экспедиционных отрядов АСПТР и проектно-конструкторских подразделений ММФ, занимающихся проектированием и проведением аварийно-спасательных и судоподъёмных операций.

РД носит рекомендательный характер и не исключает применение других методов расчёта.

I. РАСЧЁТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ И СУДОПОДЪЁМЕ

I.I. Общие положения

I.I.I. При выполнении расчётов прочности следует принимать:

весовую нагрузку судна порожнем, вес грузов, запасов, снабжения, вес воды в аварийных отсеках, силу присоса судна к грунту со знаком плюс;

силы поддержания, подъёмные силы, реакцию грунта со знаком минус;

вес снятых грузов со знаком минус, вес принятых грузов со знаком плюс, перенос груза из точки "А" в точку "Б", как снятие груза в точке "А" и приём груза в точке "Б";

напряжения растяжения со знаком плюс, напряжения сжатия со знаком минус;

изгибающий момент, при котором палуба растягивается, со знаком плюс и со знаком минус, если палуба сжимается;

координаты, расположенные в нос от мидель-шпангоута, со знаком плюс, в корму - со знаком минус;

нумерацию шпангоутов от носа в корму.

I.I.2. В настоящем разделе приняты следующие условные обозначения:

$\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2$ - вес судна до аварии, после аварии, после аварии с учётом проведенных мероприятий по спасению судна или ликвидации аварии, кН [тс] ;

L - длина судна между перпендикулярами, м;

$\Delta L = \frac{L}{20}$ - теоретическая шпация судна, м;

B - ширина судна, м;

D - высота борта, м;

$d_0, d_{0н}, d_{0к}$
$d_1, d_{1н}, d_{1к}$
$d_2, d_{2н}, d_{2к}$ } осадка судна средняя, носом, кормой до аварии, после аварии, после принятия мер по спасанию;

C_b - коэффициент общей полноты;

x_{g0}, x_{g1}, x_{g2} - отстояние центра тяжести судна от миделя до аварии, после аварии и после мероприятий по спасению судна;

x_{c0}, x_{c1}, x_{c2} – отстояние центра величины судна от миделя до аварии, после аварии и после мероприятий по спасению судна, м;

V_0, V_1, V_2 – объёмное водоизмещение судна до аварии, после аварии и после проведения мероприятий по спасению судна, м^3;

P_i – вес принятого (снятого) груза, кН [тс];

x_{pi} – отстояние центра тяжести принятого (снятого) груза от миделя, м;

V_{ni} – полный объём i-того отсека, м^3;

V_i – объём i-того отсека по аварийную ватерлинию, м^3;

x_{Vi} – отстояние центра тяжести воды в отсеке от миделя, м;

N – равнодействующая реакции грунтового основания, кН [тс];

x_N – отстояние равнодействующей реакции грунтового основания от миделя, м;

$R_{отр}$ – равнодействующая сил отрывного сопротивления, кН [тс];

$x_{отр}$ – отстояние равнодействующей сил отрывного сопротивления от миделя, м;

Q_i – равнодействующая подъёмной силы, приложенной к судну, кН [тс];

x_{Qi} – отстояние равнодействующей подъёмных сил от миделя, м;

$P_{под}$ – подъёмный вес судна, кН [тс];

$x_{под}$ – отстояние точки приложения подъёмного веса от миделя, м;

ω_i – площадь погруженной части теоретического шпангоута по расчётную ватерлинию, м^2;

μ_i – объёмный коэффициент проницаемости i-го отсека;

$\rho_в$ – плотность воды т/м^3 [тс · с^2/м^4]

$\rho_в$ = 1,0 т/м^3 [0,102 тс·с^2/м^4] – пресная вода;

$\rho_в$ = 1,025 т/м^3 [0,1045 тс·с^2/м^4] – морская вода;

ρ_{pi} – плотность какого-либо груза или статьи нагрузки, т/м^3 [тс·с^2/м^4];

$\gamma_в = \rho_в \cdot g$ – удельный вес воды, кН/м^3 [тс/м^3];

g = 9,81 м/с^2 - ускорение свободного падения;

$M_{изг}$ - изгибающий момент в каком-либо сечении, кН·м [тс·м];

$N_{пер}$ - перерезывающая сила в каком-либо сечении, кН [тс];

$M_{пр}$ - предельный изгибающий момент для данного сечения, кН·м [тс·м];

$\sigma_н$ - нормативный предел текучести материала, Н/мм^2 [кгс/см^2];

$\tau_н$ - нормативный предел текучести по касательным напряжениям $\tau_н = 0{,}57\sigma_н$, Н/мм^2 [кгс/см^2]

Остальные обозначения приведены непосредственно в тексте.

I.2. Классификация сил, действующих на аварийное или затонувшее судно

I.2.I. Силы, действующие на аварийное или затонувшее судно, в общем случае, следует относить к одному из видов:

силам веса судна с оборудованием и механизмами, веса грузов, запасов, снабжения, балласта, находящихся на судне в момент аварии;

силам поддержания судна в воде, которые определяются водоизмещающим объёмом судна, находящегося на плаву или на мели, водоизмещающими объёмами конструкций и незаполненными объёмами отсеков для затопленного судна;

силам, обусловленным аварийной ситуацией, к которым относятся вес воды в затопленных отсеках и силы взаимодействия судна с грунтом (реакция грунта, присос к грунту);

силам, обусловленным мероприятиями, связанными со спасением или подъёмом судна: разгрузка судна, перемещение грузов, удаление части оборудования, откачка воды, приложение к судну подъёмных усилий от кранов, понтонов, подача в отсеки судна сжатого воздуха, легких материалов и т.п.

I.2.2. Сила веса судна определяется массой составляющих его элементов, которые рекомендуется сводить в следующие группы:

корпус с оборудованием, куда входят голый корпус, оборудование помещений, судовые устройства (кроме специальных), судовые системы, электрооборудование, связь, управление;

энергетическая установка с валопроводом и движителями;

специальное оборудование и устройства (черпаковое устройство

земснаряда, подъёмное устройство лихтеровоза, крановое строение плавкрана и т.д.);

снабжение, экипаж, провизия;

топливо, масло, вода, балласт;

перевозимый груз.

В судоподъёме под массой затонувшего судна понимается масса подготовленного к подъёму судна с учётом всех снятых и дополнительно установленных грузов (подкреплений, приспособлений для подъёма и т.д.), а также грунта, находящегося в судне.

I.2.3. Силы поддержания судна в воде, или силы плавучести, определяются погруженным в воду объёмом судна по аварийную ватерлинию, или ватерлинию, с которой судно находится на мели. Поврежденные затопленные отсеки при определении сил плавучести (в настоящем РД) учитываются как непроницаемые.

Сила плавучести затонувшего судна - сила плавучести всех водоизмещающих объёмов судна и находящихся на нем грузов до приложения любых подъёмных сил

Водоизмещающие объёмы затонувшего судна - объёмы непосредственно самих судовых конструкций, грузов, подкреплений, грунта, и т.д., объёмы воздушных подушек, образовавшихся при затоплении судна и сохранившихся к моменту подъёма.

I.2.4. К силам, возникающим при аварийной ситуации, относятся:

вес воды в затопленных отсеках;

опорная реакция грунта;

отрывное сопротивление, т.е. сопротивление грунтового основания отрыву от него поднимаемого судна.

I.2.5. К силам, обусловленным мероприятиями, связанными со спасением или подъёмом судна, относятся: вес удаленной части грузов, конструкций и т.п., подъёмные силы понтонов, кранов, приложенные к судну, подъёмные силы от подачи в отсеки судна сжатого воздуха, пенополистирола и др. материалов.

I.2.6. При судоподъёме используются понятия:

подъёмный вес затонувшего судна - равнодействующая сил веса и сил плавучести затонувшего судна перед приложением любых подъёмных сил;

подъёмная сила - равнодействующая всех специально приложенных к судну подъёмных сил, обеспечивающих подъём судна в каждый момент подъёма.

I.3. Определение массы судна и ее распределение по длине

I.3.I. Способы и точность определения массы зависит от наличия исходных данных, в качестве которых могут быть использованы:

проектная документация по судну;
судовая эксплуатационная документация;
данные обследования аварийного или затонувшего судна.

I.3.2. При недостатке или отсутствии проектной и судовой эксплуатационной документации масса судна порожнем и отдельных ее составляющих могут быть определены по справочному приложению I, а данные о переменных и перевозимых грузах - по результатам обследования аварийного или затонувшего судна, которое должно быть максимально подробным и достоверным.

I.3.3. Вес судна и координаты его центра тяжести определяются в табл. I, в которой, в общем случае, вес судна разбивается на разделы, группы, подгруппы и статьи. Степень дробления весов зависит от наличия исходных данных и необходимой точности расчёта. Излишнее дробление весов приводит к громоздким расчётам и увеличивает вероятность ошибки.

I.3.4. Распределение веса судна по длине рекомендуется производить в виде ступенчатой кривой, для чего длина судна делится на 20 теоретических шпаций. Все грузы, составляющие водоизмещение судна к моменту аварии или гибели, с помощью чертежей общего расположения или схем их заменяющих распределяются по теоретическим шпациям так, чтобы центр тяжести груза не изменялся. Затем, веса грузов, приходящиеся на каждую теоретическую шпацию, суммируются, суммы делятся на длину шпации, что дает ординаты ступенчатой кривой веса в соответствующей шпации, т.е. равномерное распределение веса в пределах шпации.

Для облегчения контроля вычислений и большей наглядности разбивку веса судна по теоретическим шпациям следует производить в табл. 2.

I.3.5. При распределении составляющих нагрузки судна по теоретическим шпациям необходимо придерживаться следующих правил для различных частных случаев:

Правило I. Если нагрузка P расположена несимметрично в пределах одной шпации, то эта нагрузка заменяется двумя нагрузками: $P_I = P(0{,}5 + \frac{a_p}{\Delta L})$ и $P_2 = P(0{,}5 - \frac{a_p}{\Delta L})$, равномерно распределенными

Таблица

Распределение веса судна по группам

Наименование разделов, групп подгрупп и статей нагрузки	Вес, кН [тс]	Координаты ц.т. от миделя, м	Момент относительно миделя, кН·м [тс·м]
Корпус с оборудованием			
I.			
2.			
3.			
4.			
Итого: корпус с оборудованием			
Энергетическая установка			
I.			
2.			
3.			
Итого: энергетическая установка			
Специальное оборудование			
I.			
2.			
Итого: специальное оборудование			
Снабжение, экипаж, провизия			
I.			
2.			
3.			
Итого: снабжение, экипаж, провизия			
Топливо, масло, вода			
I.			
2.			
3.			
Итого: топливо, масло, вода			
Перевозимый груз			
I.			
2.			
Итого: перевозимый груз			
Итого: судно целиком	Σ_1		Σ_2

$$\Sigma_1 = \Delta_0 \qquad x_{g_0} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$$

Таблица 2

Распределение веса судна по теоретическим шпациям

Грузы: разделы, группы, подгруппы, статьи	Вес, кН [тс]	Теоретические шпации						Суммы слева
		0-1	1-2	2-3		I8-I9	I9-20	
I	2	3	4	5		2I	22	23
Корпус с оборудованием								
I.								
2.								
3.								
Итого: корпус с оборудованием								
Энергетическая установка								
I.								
2.								
Итого: энергетическая установка								
Специальное оборудование								
I.								
2.								
Итого: специальное оборудование								
Снабжение, экипаж, провизия								
I.								
2.								
Итого: снабжение, экипаж, провизия								
Топливо, масло, вода								
I.								
2.								
3.								
Итого: топливо, масло, вода								
Перевозимый груз								
I.								
2.								
3.								
Итого: перевозимый груз								
Суммы сверху	Σ_1							Σ_1
Множители		9,5	8,5	7,5		-8,5	-9,5	
Произведения								Σ_2

в двух смежных шпациях (рис.I).

Правило 2. Если центр тяжести груза Р совпадает с границей двух шпаций, то к каждой из шпаций следует отнести вес $P_I=0,5P$, равномерно распределив его в шпации.

Правило 3. Грузы весом до $0,01\Delta_0$ (или несколько грузов, сумма весов которых не превосходит $0,01\Delta_0$ могут быть равномерно разнесены по длине всей шпации независимо от действительного положения их центра тяжести.

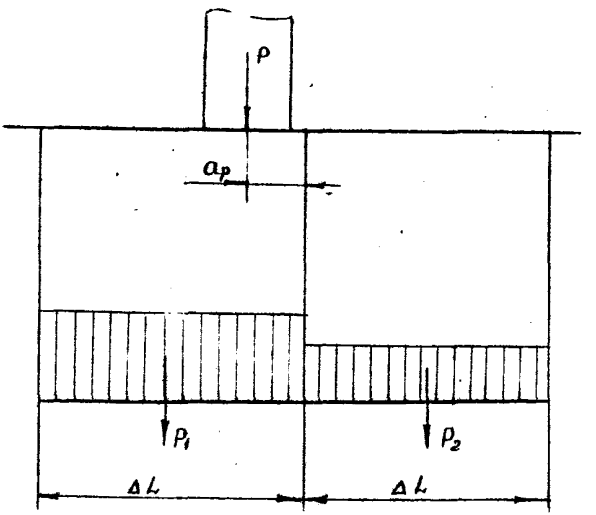


Рис. I

Правило 4. Если груз Р равномерно распределен на части длины судна, равной ℓ, то такой груз может быть разбит на составляющие $\geq$ Ро, P_I и P_2 (рис. 2)

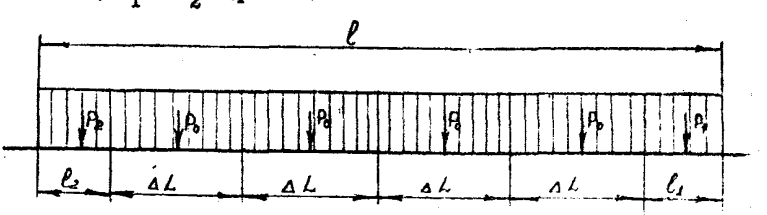


Рис. 2

$$P_o = P\frac{\Delta L}{\ell};\ P_I = P\frac{\ell_1}{\ell};\ P_2 = P\frac{\ell_2}{\ell} \qquad (I)$$

Грузы P_o следует распределить на средние шпации, а грузы P_I и P_2 согласно правилу I или 3.

Правило 5. Если центр тяжести груза P находится за пределами крайнего шпангоута (0 или 20-го), то груз P заменяется двумя грузами

$$P_I\ (\frac{3}{2} + \frac{C}{\Delta L})\ P \text{ и } P_2 = (\frac{I}{2} + \frac{C}{\Delta L})\ P \qquad (2)$$

Груз P_I прибавляется к нагрузке шпации 0-I или I9-20, груз P_2 вычитается из нагрузки шпации I-2 или I8-I9 (рис. 3).

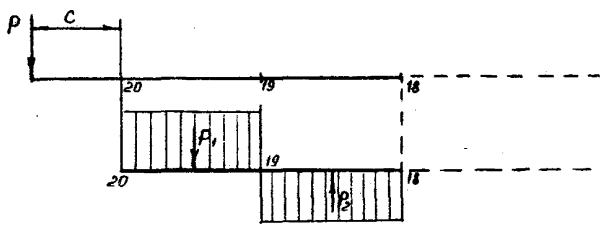


Рис. 3

I.3.8. Для упрощения и сокращения построений и расчётов, а также при отсутствии подробной таблицы весовой нагрузки, распределение по длине судна веса корпуса с оборудованием рекомендуется производить по способу проф. А.А. Курдюмова, табл. 3. При этом вес корпуса с оборудованием P_{ko} и положение центра тяжести корпуса с оборудованием X_{ko}, определяются по данным табл. I.

I.4. Определение сил плавучести и распределение их по длине судна

I.4.I. Силы плавучести судна, находящегося на плаву или на мели следует определять по масштабу Бонжана (кривым площадей шпангоутов) по аварийную ватерлинию (если она известна).

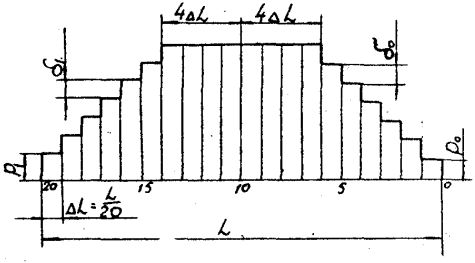
Аварийная ватерлиния наносится на масштаб Бонжана по осадкам d_I, d_{IH}, d_{IK}, она может быть и криволинейной при изгибе корпуса, особенно при посадке на грунт. Схема расчёта приведена в табл. 4.

Если положение аварийной ватерлинии для судна на плаву неизвестно, она находится последовательными приближениями. Положение

Таблица 3

Построение ступенчатой кривой веса корпуса с оборудованием по методу проф. А.А. Курдюмова

Для судов с полными обводами $C_B \geq 0{,}75$

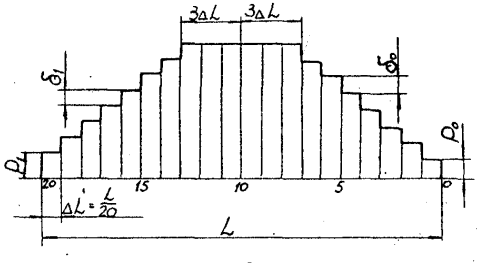


$$P_0 = m_0 \frac{P_{K0}}{20}; \quad P_1 = m_1 \frac{P_{K0}}{20}; \quad P_{cp} = 1{,}18 \frac{P_{K0}}{20}$$

$$m_0 = 0{,}667 + 0{,}365 \frac{X_{K0}}{\Delta L}; \quad m_1 = 0{,}667 - 0{,}365 \frac{X_{K0}}{\Delta L}$$

$$\delta_0 = \frac{P_{cp} - P_0}{6}; \qquad \delta_1 = \frac{P_{cp} - P_1}{6}$$

Для судов с острыми обводами $C_B < 0{,}75$



$$P_0 = m_0 \frac{P_{K0}}{20}; \quad P_1 = m_1 \frac{P_{K0}}{20}; \quad P_{cp} = 1{,}18 \frac{P_{K0}}{20}$$

$$m_0 = 0{,}730 + 0{,}333 \frac{X_{K0}}{\Delta L}; \quad m_1 = 0{,}730 - 0{,}333 \frac{X_{K0}}{\Delta L}$$

$$\delta_0 = \frac{P_{cp} - P_0}{7}; \qquad \delta_1 = \frac{P_{cp} - P_1}{7}$$

Таблица 4

Расчёт сил поддержания по теоретическим шпациям

Номер шпангоута	Площадь шпангоута, $м^2$	Сумма графы 2 попарно	Силы поддержания на шпацию $(3)\cdot\gamma\cdot\frac{\Delta L}{2}$, кН (тс)	Факторы плеч	(4)·(5)
I	2	3	4	5	6
20	w_{20}				
		$w_{20}+w_{19}$	$\gamma\cdot\Delta L(w_{20}+w_{19})$	-9,5	
I9	w_{19}				
		$w_{19}+w_{18}$	$\gamma\cdot\Delta L(w_{19}+w_{18})$	-8,5	
I8	w_{18}				
		$w_{18}+w_{17}$	$\gamma\cdot\Delta L(w_{18}+w_{17})$	-7,5	
I7	w_{17}				
		$w_{17}+w_{16}$	$\gamma\cdot\Delta L(w_{17}+w_{16})$	-6,5	
I6				-5,5	
I5				-4,5	
I4				-3,5	
I3				-2,5	
I2				-I,5	
II				-0,5	
I0				0,5	
9				I,5	
8				2,5	
7				3,5	
6				4,5	
5				5,5	
4				6,5	
3				7,5	
2	w_2				
		w_2+w_1	$\gamma\cdot\Delta L(w_2+w_1)$	8,5	
I	w_1				
		w_1+w_0	$\gamma\cdot\Delta L(w_1+w_0)$	9,5	
0	w_0				
			$\Sigma(4)$		$\Sigma(6)$

$$V=\Sigma(4) \qquad x_c=\frac{\Sigma(6)}{\Sigma(4)}$$

аварийной ватерлинии считается найденным, если будут обеспечены равенства:

$$|x_{gi} - x_{ci}| \leq 0{,}001\, L$$

$$|\Delta i - j V_i| \leq 0{,}005\, \Delta i$$

При этом суммарные объёмы воды в аварийных отсеках по предыдущую и последующую ватерлинии не будут отличаться более чем на 5%.

Удифферентовка судна, т.е. определение положения аварийной ватерлинии может также производиться по программе "Волна-82", составленной для ЭВМ ЕС. Описание программы приведено в справочном приложении 2.

Программа "Волна-82" позволяет определить также изгибающие моменты, перерезывающие силы и прогибы судна на тихой воде и волнении.

I.4.2. Сила плавучести затонувшего судна определяется объёмами конструктивных элементов корпуса, механизмов, оборудования, снабжения, грузов, грунта в отсеках судна, а также объёмами, заполненными воздухом.

Силу плавучести q_i какого-либо элемента нагрузки судна следует определять по формуле

$$q_i = \frac{\rho_в}{\rho_{pi}} \cdot p_i, \qquad \text{кН [тс]} \tag{3}$$

Сумма их по всем составляющим нагрузки определит силу плавучести затонувшего судна.

Сила плавучести объёма, заполненного воздухом, должна определяться по формуле

$$q_{возд\,i} = g \cdot \rho_в \cdot V_{возд\,i}, \tag{4}$$

где $V_{возд\,i}$ - объём воздуха в i -м отсеке, м^3.

I.5. Подъёмный вес судна и его распределение по длине

I.5.I. Согласно принятых определений подъёмный вес судна есть равнодействующая сил веса подготовленного к подъёму судна и сил плавучести его водоизмещающих объёмов

$$P_{под} = \Delta_0 - \sum P_{ci} + \sum P_{gi} - \sum q_{oi} - \sum q_{gi} + \sum q_{ci} - \sum q_{возд\,i} \tag{5}$$

где $\Delta_o = \sum P_{oi}$ – вес элементов нагрузки судна до аварии, кН (тс);

$\sum P_{gi}$ – вес добавленных грузов, кН (тс);

$\sum P_{ci}$ – вес снимаемых грузов, кН (тс);

$\sum q_{oi} = \sum \frac{\rho_в}{\rho_{oi}} P_{oi}$ – сила плавучести объёмов элементов нагрузки судна, кН (тс);

$\sum q_{gi} = \sum \frac{\rho_в}{\rho_{gi}} P_{gi}$ – сила плавучести объёмов добавленных грузов, кН (тс);

$\sum q_{ci} = \sum \frac{\rho_в}{\rho_{ci}} P_{ci}$ – сила плавучести объёмов снимаемых грузов, кН (тс);

$\sum q_{возд\,i}$ – сила плавучести объёмов, заполненных воздухом, кН (тс);

$\rho_{oi}, \rho_{gi}, \rho_{ci}$ – плотность соответственно элементов нагрузки, добавленных и снятых грузов, т/м^3 (тс с^2/м^4).

После соответствующих подстановок и преобразований формула для определения подъёмного веса судна принимает вид

$$P_{под} = \sum P_{oi}\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{oi}}\right) + \sum P_{gi}\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{gi}}\right) - \sum P_{ci}\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{ci}}\right) - \sum q_{возд\,i}, \qquad (6)$$

где $\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{oi}}\right); \left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{gi}}\right); \left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{ci}}\right)$ – коэффициенты веса в воде грузов P_{oi}, P_{gi}, P_{ci}

Таким образом, при определении подъёмного веса судна все составляющие веса должны быть объединены в группы с одинаковой плотностью и затем вес каждой группы должен быть умножен на коэффициент веса в воде.

Однако, разбивка составляющих веса судна на группы с одинаковой плотностью – операция трудоёмкая и для ее выполнения необходимы подробные исходные данные о весовой нагрузке судна. Поэтому для практических расчётов с достаточной степенью точности можно рекомендовать коэффициенты веса в воде по различным разделам весовой нагрузки, приведенные в табл. 5.

I.5.2. Расчёт подъёмного веса и распределение его по длине судна рекомендуется производить по форме табл. 6. Веса отдельных разделов нагрузки судна и распределение их по длине следует принимать по данным табл. 2. Веса и распределение по шпациям отдельных добавленных и снятых грузов, а также силы плавучести воздушных подушек принимаются по данным проекта подъёма и водолазного обследования в соответствии с правилами п. I.3.5.

Таблица 5

Разделы весовой нагрузки	Коэффициент веса в воде $(I - \frac{\rho_в}{\rho_i})$
Корпус с оборудованием	0,80 - 0,85
Энергетическая установка	0,85
Спецоборудование	0,85
Снабжение, провизия	0,50
Топливо, масло, вода	0,00-(-0,10)
Перевозимый груз	в зависимости от характера груза
Металлоконструкции стальные без закрытых объёмов	0,87
Грунт	0,50

I.6. Опорная реакция грунта и ее распределение по длине судна

I.6.I. Равнодействующая опорной реакции грунта (кН [тс]) при посадке судна на мель и наличии затопленных отсеков до принятия каких-либо мер по спасанию должна определяться по формуле

$$N = \Delta_0 + \sum V_i \cdot g \cdot \rho_в \cdot \mu_i - V_1 \cdot g \cdot \rho_в \qquad (7)$$

Точка приложения равнодействующей опорной реакции грунта по длине определяется по формуле

$$X_N = \frac{\Delta_0 \cdot x_{g0} + \sum V_i \cdot g \cdot \rho_в \cdot \mu_i \cdot x_{vi} - V_1 \cdot g \cdot \rho_в \cdot x_{c1}}{N} \qquad (8)$$

I.6.2. Если в процессе спасательной операции по снятию с мели производится снятие (приём) грузов, использование дополнительных сил поддержания, то равнодействующая опорной реакции грунта и ее координату по длине судна следует определять по формулам:

$$N = \Delta_0 + \sum V_i \cdot g \cdot \rho_в \cdot \mu_i - V_2 \cdot g \cdot \rho_в + \sum P_i - \sum Q_i , \qquad (9)$$

$$X_N = \frac{\Delta_0 x_{g0} + \sum V_i \cdot g \cdot \rho_в \cdot \mu_i \cdot x_{vi} - V_2 \cdot g \cdot \rho_в \cdot x_{c2} + \sum P_i x_{pi} - \sum Q_i \cdot x_{qi}}{N} . \qquad (10)$$

Если при проведении этих мероприятий посадка судна не изменилась, то $V_2 = V_1$ и $x_{c2} = x_{c1}$

Таблица 6

Расчёт подъёмного веса

Наименование составляющих подъёмного веса	Вес в воде кН [тс]	Распределение веса по шпациям					Суммы слева
		20–19	19–18	18–17	2–1	1–0	
I	2	3	4	5	21	22	23
1. Корпус с оборудованием							
2. Энергетическая установка							
3. Специальное оборудование и устройства							
4. Снабжение, провизия, запасы							
5. Топливо, масло, вода							
6. Перевозимый груз:							
трюм I							
трюм 2							
трюм							
7. Добавленные грузы:							
конструкция							
грунт							
8. Снятые грузы							
9. Плавучесть воздушных подушек							
Суммы сверху	$\Sigma_1 = \rho_{под}$						$\Sigma_1 = \rho_{под}$
Множители		-9,5	-8,5	-7,5	8,5	9,5	
Произведения							Σ_2

$$x_{под} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} \cdot \Delta L$$

В случае, если новая посадка судна неизвестна, то ее следует определять в соответствии с рекомендациями РД 31.72.04-85 "Методики расчётов по статике и динамике корабля при проведении аварийно-спасательных операций и судоподъёме".

I.6.3. *Характер распределения опорной реакции* грунта по длине судна зависит от ряда факторов: площади контакта судна с грунтом, глубины погружения судна в грунт, характеристик грунта, гибкости корпуса, наличия твердых (жестких) включений в грунте.

Приближенно опорная реакция грунта распределяется по длине судна следующим образом:

при контакте судна с грунтом на длине $0{,}2\,L$ и менее опорная реакция грунта заменяется равномерно распределенной нагрузкой в одной или двух теоретических шпациях согласно общему правилу замены сосредоточенной силы распределенной нагрузкой изложенному в п.I.3.5;

при контакте судна с грунтом на длине более $0{,}2\,L$ опорная реакция грунта заменяется равномерно-распределенной нагру кой, как указано на рис. 4.

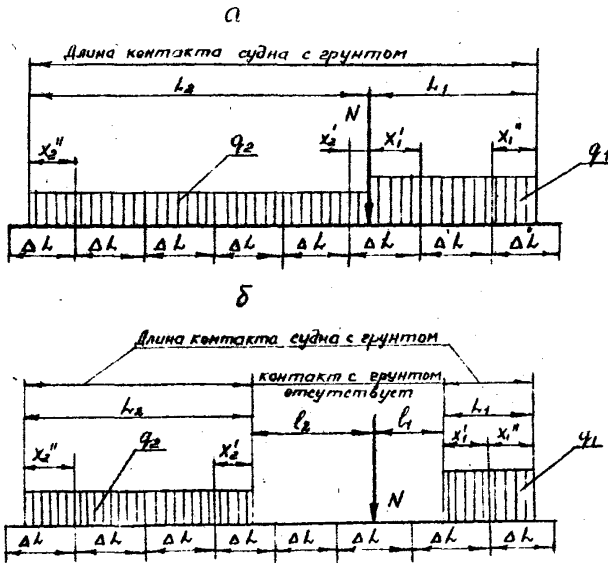


Рис. 4

Интенсивность нагрузки q_2 – слева от силы N и q_1 справа от силы N определяется для случая "а" по формулам:

$$q_1 = \left(\frac{N}{1+\frac{L_1}{L_2}}\right)\cdot\frac{1}{L_1} \qquad (11)$$

$$q_2 = \left(\frac{N}{1+\frac{L_2}{L_1}}\right)\cdot\frac{1}{L_2} \qquad (12)$$

для случая "б" по формулам:

$$q_1 = \left(\frac{N}{1+\frac{2L_1+L_2}{3L_2+L_2}}\right)\cdot\frac{1}{L_1} \qquad (13)$$

$$q_2 = \left(\frac{N}{1+\frac{3L_2+L_2}{2L_1+L_1}}\right)\cdot\frac{1}{L_2} \qquad (14)$$

Тогда реакция на шпации равна:

$q_1\cdot\Delta L,\ q_1\cdot x_1',\ q_1\cdot x_1''$ – справа от N

$q_2\cdot\Delta L,\ q_2\cdot x_2',\ q_2\ x_2''$ – слева от N

I.7. Определение веса воды в затопленных отсеках

I.7.I. Вес воды в затопленном отсеке, кН [тс], определяется по формуле

$$P_{Bi} = V_i\cdot\mu_i\cdot q\cdot\rho_B \qquad (15)$$

Объём воды в отсеке определяется по кривым вместимости отсеков, по теоретическому чертежу или по кривым площадей шпангоутов.

При определении количества воды, влившейся в отсек, следует учитывать, что в них находятся грузы, механизмы, набор, изоляция и т.п. Часть объёма отсека, которая не может быть заполнена водой учитывается коэффициентом проницаемости μ, представляющего собой отношение свободного объёма отсека, который может быть заполнен водой, к теоретическому объёму отсека.

Коэффициенты проницаемости μ устанавливаются исходя из фактического наличия грузов и их вида в отсеке (трюме) и могут быть определены специальным расчётом, однако если соответствующих данных нет, то в качестве средних значений могут приниматься следующие:

0,85 – для помещений, занятых механизмами, электростанциями, технологическим оборудованием на промысловых судах и судах специального назначения;

0,60 – для грузовых помещений с генгрузом;

0,95 - для жилых помещений, помещений, занятых порожней колесной техникой;
0,98 - для пустых цистерн и цистерн балласта;
0,80 - для грузовых помещений накатных судов и помещений, занятых рудой на неспециализированных судах;
0,93 - для пустых рефрижераторных трюмов;
0,35 - для помещений, занятых лесным грузом.

I.7.2. Вес воды в отсеке распределяется равномерно по длине отсека в соответствии с правилом 4 п. I.3.5.

I.8. Отрывное сопротивление и его распределение по длине судна

I.8.I. Природа отрывного сопротивления (присоса) грунта различна при подъёме с фильтрующих (песчаных) и со связных (глинистых, илистых) грунтов.

I.8.2. При подъёме с фильтрующих грунтов отрывное сопротивление складывается из фильтрационного сопротивления, сопротивления трения судна о грунт и сопротивления зарывшихся в грунт выступающих частей судна. Фильтрационное сопротивление является наиболее значительной составляющей отрывного сопротивления. Величина фильтрационного сопротивления зависит от свойств грунта, заглубления в него судна, размеров и формы вошедшей в грунт или прилегающей к грунту части судна, а также от скорости движения судна в грунте, т.е. от интенсивности наращивания подъёмных усилий и их превышения подъёмного веса судна.

Методика расчёта отрывного сопротивления при подъёме судна с песчаного грунта, приведены в [5] справочного приложения 7.

I.8.3. При подъёме со связных грунтов отрывное сопротивление имеет различную природу при малом и при большом насыщении грунта водой. В жидком грунте отрывное сопротивление носит характер сопротивления трения вязкой жидкости и может быть уменьшено за счёт снижения скорости подъёма. В пластичных грунтах отрыв судов происходит за счёт разрушения грунта, которое начинается только при некотором избытке подъёмных сил. Величина необходимых подъёмных усилий возрастает с уменьшением влажности грунта и с увеличением интенсивности наращивания подъёмных усилий.

I.8.4. *Существующие методы расчёта отрывного сопротивления*, основанные на теоретических и экспериментальных исследованиях, сложны и требуют полных данных о свойствах грунта. Кроме того,

эти методы не учитывают ряд факторов, существенно влияющих на величину отрывного сопротивления, например, неоднородность грунта в пределах залегания судна. Поэтому результаты этих расчётов всегда могут быть подвергнуты сомнению, а сами методы расчёта широкого практического применения не получили.

I.8.5. Для практических целей используется приближенный способ оценки величины отрывного сопротивления в зависимости от подъёмного веса по формуле:

$$R_{отр} = K_o \cdot P_{под}, \qquad (I6)$$

где K_o - коэффициент силы присоса, установленный на основе опыта ряда подъёмов, приведен в табл. 7.

Таблица 7

Характер грунта	K_o
Скала с галькой и песком	0,00 - 0,05
Крупный песок	0,05 - 0,I0
Галька с песком	0,I0 - 0,I5
Мелкий песок	0,I5 - 0,20
Слой ила и под ним мягкая глина	0,I5 - 0,20
Ил с плотной и вязкой глиной	0,20 - 0,25
Вязкая плотная глина с песком и ракушкой	0,25 - 0,45

Как правило, следует ориентироваться на низшие значения K_o, особенно в тех случаях, когда плотность прилегания судна к грунту нарушена промывкой туннелей и длительным приложением подъёмных сил. Ко следует брать ближе к верхнему пределу в тех случаях, когда в грунт заглублено много выступающих частей, например, если судно лежит с креном.

I.8.6. Если судно лежит на грунтах разного состава и известна площадь контакта судна с каждым видом грунта, то отрывное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{отр} = K_{o(ср)} \cdot P_{под}, \qquad (I7)$$

где $K_{o(ср)}$ - средний общий коэффициент силы присоса грунтов,

$$K_{o(ср)} = \frac{\sum S_i K_{oi}}{\sum S_i}, \qquad (I8)$$

где S_i – площадь контакта судна с грунтом одного состава, $м^2$;
K_{oi} – табличный коэффициент силы присоса данного грунта.

I.8.7. При распределении силы отрывного сопротивления по длине судна рекомендуется руководствоваться следующими указаниями:

если площадь контакта судна с грунтом неизвестна, $R_{отр}$ должно распределяться пропорционально распределению подъёмного веса на длине контакта;

если площадь контакта судна с грунтом известна или может быть определена, то $R_{отр}$ должно распределяться пропорционально площади контакта на длине контакта, с учётом коэффициента присоса каждого вида грунта (если судно лежит на неоднородном грунте).

I.8.8. Распределение отрывного сопротивления в зависимости от площади контакта судна с грунтом производится следующим образом:

в избранном масштабе строится площадь поверхности контакта судна с грунтом, на которой наносятся границы различных грунтов;

вычисляются площади поверхностей контакта судна с каждым видом грунта в каждой теоретической шпации;

в каждой теоретической шпации определяется величина $S_i \cdot K_{oi}$ произведение площади поверхности контакта с каждым видом грунта на коэффициент присоса этого грунта;

определяется величина $C = \frac{R_{отр}}{\sum S_i \cdot K_{oi}}$ – удельное отрывное сопротивление;

определяется величина отрывного сопротивления в каждой теоретической шпации $R'_{отр} = S_i \cdot K_{oi} \cdot C$;

определяются моменты отрывного сопротивления в каждой теоретической шпации и положение равнодействующей отрывного сопротивления относительно миделя.

Построение площади контакта судна с грунтом и табличный метод расчёта распределения отрывного сопротивления по длине судна приведены на рис. 5 и в табл. 8.

I.9. Подъёмные силы

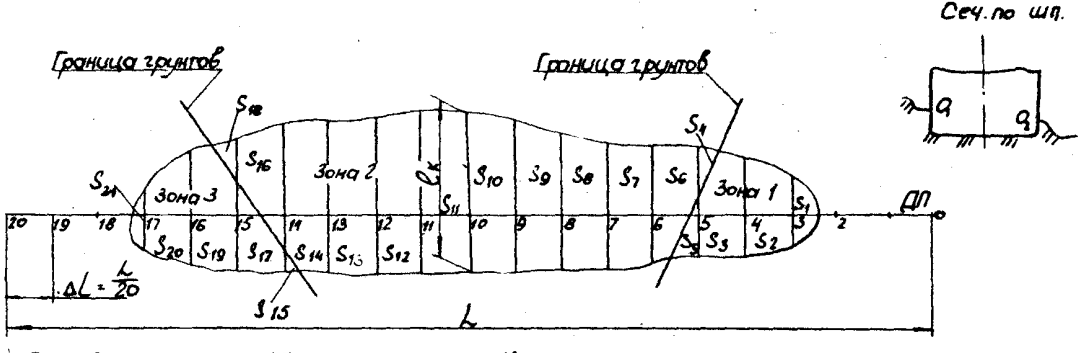
I.9.I. Подъёмные силы могут быть созданы различными техническими средствами:

плавучими кранами;

судоподъёмными мягкими и жесткими понтонами;

воздухом, вспененным полистиролом и другими плавучими материалами, помещенными в отсеки поднимаемого судна.

Построение поверхности контакта судна с грунтом



Зона I – грунт с коэффициентом присоса K_{o1} ;
Зона 2 – грунт с коэффициентом присоса K_{o2} ;
Зона 3 – грунт с коэффициентом присоса K_{o3} ;
$\ell_к$ – ширина поверхности контакта, измеренная от точки O_1 до точки O_2 по наружной обшивке

Рис. 5

Таблица 8

Распределение отрывного сопротивления по площади контакта судна с грунтом

Шпация	Площадь контакта с грунтом S_i, м²	$S_i \cdot K_n$	$R'_{отр} = S_i \cdot K_n \cdot C$	Плечо площади относительно миделя x_i, м	$S_i \cdot K_n \cdot C \cdot X_i$
I	2	3	4	5	6
20–I9	–	–	–	–	–
I9–I8	–	–	–	–	–
I8–I7	S_{21}	$S_{21} \cdot K_{03}$	$S_{21} \cdot K_{03} \cdot C$	$-X_{21}$	$-S_{21} \cdot K_{03} \cdot C \cdot X_{21}$
I7–I6	S_{20}	$S_{20} \cdot K_{03}$	$S_{20} \cdot K_{03} \cdot C$	$-X_{20}$	$-S_{20} \cdot K_{03} \cdot C \cdot X_{20}$
I6–I5	S_{19}	$S_{19} \cdot K_{03}$	$S_{19} \cdot K_{03} \cdot C$	$-X_{19}$	$-S_{19} \cdot K_{03} \cdot C \cdot X_{19}$
I5–I4	S_{18}	$S_{18} \cdot K_{02}$	$S_{18} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{18}$	$-S_{18} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{18}$
I4–I3	S_{17}	$S_{17} \cdot K_{03}$	$S_{17} \cdot K_{03} \cdot C$	$-X_{17}$	$-S_{17} \cdot K_{03} \cdot C \cdot X_{17}$
I3–I2	S_{16}	$S_{16} \cdot K_{02}$	$S_{16} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{16}$	$-S_{16} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{16}$
I2–II	S_{15}	$S_{15} \cdot K_{03}$	$S_{15} \cdot K_{03} \cdot C$	$-X_{15}$	$-S_{15} \cdot K_{03} \cdot C \cdot X_{15}$
II–I0	S_{14}	$S_{14} \cdot K_{02}$	$S_{14} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{14}$	$-S_{14} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{14}$
I0–9	S_{13}	$S_{13} \cdot K_{02}$	$S_{13} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{13}$	$-S_{13} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{13}$
9–8	S_{12}	$S_{12} \cdot K_{02}$	$S_{12} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{12}$	$-S_{12} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{12}$
8–7	S_{11}	$S_{11} \cdot K_{02}$	$S_{11} \cdot K_{02} \cdot C$	$-X_{11}$	$-S_{11} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{11}$
7–6	S_{10}	$S_{10} \cdot K_{02}$	$S_{10} \cdot K_{02} \cdot C$	X_{10}	$S_{10} \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_{10}$
6–5	S_9	$S_9 \cdot K_{02}$	$S_9 \cdot K_{02} \cdot C$	X_9	$S_9 \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_9$
5–4	S_8	$S_8 \cdot K_{02}$	$S_8 \cdot K_{02} \cdot C$	X_8	$S_8 \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_8$
4–3	S_7	$S_7 \cdot K_{02}$	$S_7 \cdot K_{02} \cdot C$	X_7	$S_7 \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_7$
3–2	S_6	$S_6 \cdot K_{02}$	$S_6 \cdot K_{02} \cdot C$	X_6	$S_6 \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_6$
2–I	S_5	$S_5 \cdot K_{01}$	$S_5 \cdot K_{01} \cdot C$	X_5	$S_5 \cdot K_{01} \cdot C \cdot X_5$
I–0	S_4	$S_4 \cdot K_{02}$	$S_4 \cdot K_{02} \cdot C$	X_4	$S_4 \cdot K_{02} \cdot C \cdot X_4$
	S_3	$S_3 \cdot K_{01}$	$S_3 \cdot K_{01} \cdot C$	X_3	$S_3 \cdot K_{01} \cdot C \cdot X_3$
	S_2	$S_2 \cdot K_{01}$	$S_2 \cdot K_{01} \cdot C$	X_2	$S_2 \cdot K_{01} \cdot C \cdot X_2$
	S_1	$S_1 \cdot K_{01}$	$S_1 \cdot K_{01} \cdot C$	X_1	$S_1 \cdot K_{01} \cdot C \cdot X_1$
	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–
	–	–	$R'_{отр} = \sum S_i \cdot K_{0i} \cdot C$	–	$\sum S_i \cdot K_{0i} \cdot C \cdot X_i$
	$\sum S_i$				

$$C = \frac{R_{отр}}{\sum S_i \cdot K_{0i}} \qquad X_{отр} = \frac{\sum S_i \cdot K_{0i} \cdot C \cdot X_i}{\sum S_i \cdot K_{0i} \cdot C}$$

I.9.2. Подъёмная сила плавкрана определяется при расчёте подъёмных сил, во всех случаях она не должна превышать максимальной грузоподъёмности плавкрана с учётом коэффициента запаса, определяемого для каждого конкретного случая особо.

I.9.3. Подъёмная сила понтонов должна определяться по документации понтонов, в зависимости от степени их продувки и положения.

I.9.4. Усилие от каждого стропа крана или понтона распределяется равномерно в пределах одной или двух шпаций в соответствии с правилом I п. I.3.5.

I.9.5. Подъёмная сила, возникающая вследствие продувки отсеков воздухом $Q_{возд}$ (кН [тс]), равна весу вытесненной им воды и должна определяться по формуле

$$Q_{возд} = V_{вв} \cdot g \cdot \rho_в , \qquad (I9)$$

где $V_{вв}$ – объём вытесненной воздухом воды, м^3.

I.9.6. Пенополистирол, применяемый при судоподъёмных и аварийно-спасательных работах, характеризуется:

$\gamma_{нас}$ – насыпной плотностью, кг/м^3 [кгс с^2/м^4]

ρ – плотностью гранул, кг/м^3 [кгс с^2/м^4]

$q_{уд}$ – удельной подъёмной силой (подъёмная сила одного метра кубического объёма, заполненного полистиролом под водой), Н/м^3 [кгс/м^3].

Под давлением воды шарики пенополистирола сжимаются. Величина сжатия зависит от плотности гранул (чем меньше плотность, тем сильнее сжатие), глубины погружения, длительности нахождения в воде.

Потеря подъёмной силы Δq в процентах в зависимости от $\gamma_{нас}$ и глубины закачки пенополистирола представлена в табл. 9.

Таблица 9

Глубина погружения, м	Насыпная плотность $\gamma_{нас}$ кг/м³			
	20	40	70	I00
I0	7	3	2	I
40	60	I6	3	I
70	8I	50	I4	4
I00	89	66	32	I0

Удельную подъёмную силу пенополистирола в Н/м³ [кгс/м³] следует определять по формуле

$$d_{уд} = \left[\rho_в \frac{\gamma_{нас}}{\rho}\left(1 - \frac{\Delta q}{I00}\right) - \gamma_{нас}\right] \cdot g \qquad (20)$$

I.9.7. Подъёмную силу пенополистирола $Q_п$ [кН(тс)], поданного в отсек затонувшего или аварийного судна следует определять по формулам:

$$Q_п = d_{уд} \cdot \frac{m_1}{\gamma_{нас}} \cdot I0^{-3}, \qquad (2I)$$

для отсека, полностью заполненного водой

$$Q_п = (m - m_{min}) \frac{d_{уд}}{\gamma_{нас}} \cdot I0^{-3} \qquad (22)$$

для отсека, частично заполненного водой,

где m – масса пенополистирола, поданного в отсек, кг;

m_{min} – масса пенополистирола в частично заполненном водой отсеке, при превышении которой возникает подъёмная сила

$$m_{min} = \frac{\gamma_{нас}}{d_{уд}}(V_п - V)(d_{уд} + \gamma_{нас} g). \qquad (23)$$

Максимальную массу пенополистирола, которая может быть подана в отсек следует определять по формуле

$$m_{max} = 0{,}8 V_п \cdot \gamma_{нас} \cdot \mu', \qquad (24)$$

где μ' – коэффициент проницаемости отсека по полистиролу, определяемый в каждом конкретном случае в зависимости от типа отсека, вида и объёма грузов и оборудования в нем.

I.I0. Расчёт нагрузки аварийного или затонувшего судна

I.I0.I. Расчёт нагрузки для последующего определения

изгибающих моментов и перерезывающих сил может быть необходим в следующих случаях:

судно находится на плаву, некоторые отсеки затоплены;

судно находится на мели, производится разгрузка судна, перемещения грузов и запасов, к судну приложены подъёмные силы (некоторые отсеки продуты сжатым воздухом, принят пенополистирол, установлены понтоны и т.п.);

судно стянуто с мели после разгрузки, перемещения грузов и приложения подъёмных сил;

производится подъём затонувшего судна, определяется нагрузка в момент отрыва его от грунта;

затонувшее судно поднято на поверхность в состоянии сразу после подъёма;

поднятое судно подготовлено к буксировке, произведена разгрузка, удалена вода из отсеков, снята часть подъёмных сил.

I.IO.2. Для аварийного судна, находящегося на плаву с затопленными отсеками, нагрузка включает:

вес судна с грузами и запасами перед аварией;

вес воды в затопленных отсеках;

силы поддержания по аварийную ватерлинию.

Суммарная нагрузка должна определяться из условия равенства сил веса и сил поддержания и их моментов

$$\Delta_0 + \Sigma V_i \cdot \rho_i \cdot \mu_i g = V_1 \cdot \rho_1 \cdot g \qquad (25)$$

$$\Delta_0 x_{g0} = \Sigma V_i \rho_i \mu_i g \cdot x_{vi} = V_1 \cdot \rho_1 \cdot g \cdot x_{c1} \qquad (26)$$

Предполагается, что известны:

весовое водоизмещение и посадка судна до аварии;

затопленные отсеки;

положение аварийной ватерлинии.

Расчёт V_1 и x_{c1} производится в соответствии с требованиями подраздела I.4, вес воды в затопленных отсеках определяется в соответствии с указаниями подраздела I.7.

Расчёт нагрузки производится в табл. I0.

При выполнении расчёта необходимо, чтобы разница между левой и правой частью уравнения 25 не превышала $0{,}005\,\Delta_0$, а уравнения 26 - $0{,}001\,L \cdot \Delta_0$.

I.IO.3. Для судна, находящегося на мели, в общем случае, нагрузка включает:

Таблица I0

Расчёт нагрузки аварийного судна на плаву или на мели

Статьи нагрузки	Нагрузка, кН [тс]	Нагрузка на теоретическую шпацию					Суммы слева
		20-I9	I9-I8	I8-I7		2-I	I-0	
I	2	3	4	5		2I	22	23
I. Весовая нагрузка судна до аварии,								
в т.ч.: судно порожнем,								
судовые запасы,								
груз								
2. Вода в затопленных отсеках								
3. Силы плавучести								
4. Снимаемые (принимаемые) грузы								
5. Перемещаемые грузы								
6. Дополнительные силы поддержания:								
сжатый воздух,								
пенополистирол, пена,								
понтоны,								
плавкраны,								
др.средства								
7. Реакция грунта								
Суммарная нагрузка на шпацию								$\Sigma_1 \leqslant 0.005\,\Delta_0$
Множители		-9,5	-8,5	-7,5		8,5	9,5	
Произведения								Σ_2

Примечания: I. Нагрузка по статьям I,2 принимается со знаком "+", по статьям 3,6,7- со знаком "-", принимаемые грузы со знаком "+", снимаемые - со знаком "-"

2. $\Delta L \cdot \Sigma_2 \leqslant 0.001 L \cdot \Delta_0$

вес судна с грузами и запасами до посадки на мель;

вес воды в затопленных отсеках, если они имеются;

вес снимаемых (принимаемых) грузов при проведении мероприятий по спасанию;

силы поддержания по действующую ватерлинию;

дополнительные силы поддержания (понтонов, сжатого воздуха, пенополистирола, плавсредств и т.д.)при проведении мероприятий по спасанию;

опорную реакцию грунта.

Суммарная нагрузка судна на мели определяется из условия равенства сил веса и сил поддержания и их моментов

$$\Delta_0 + \Sigma V_i \cdot \rho_i \cdot \mu_i \cdot g + \Sigma P_i = V_i \cdot \rho_i \cdot g + N + \Sigma Q_i \qquad (27)$$

$$\Delta_0 \cdot x_{g0} + \Sigma V_i \cdot \rho_i \cdot \mu_i \cdot g \cdot x_{gi} + \Sigma P_i \cdot x_{pi} = V_i \rho_i \cdot g \cdot x_{ci} + N \cdot x_N + \Sigma Q_i \cdot x_{qi} \qquad (28)$$

В этих уравнениях N и x_N определяются по формулам 7 и 8, с учётом действующей ватерлинии сидящего на мели судна.

При этом предполагается, что известны:

весовое водоизмещение и посадка судна до аварии;

затопленные отсеки;

положение ватерлинии судна, сидящего на мели как до, так и после проведения мероприятий по спасанию.

Если не производилось снятия (приёма) груза и не использовались дополнительные силы поддержания, то $\Sigma P_i = 0$, $\Sigma Q_i = 0$ и $V_i = V_1$

Если после снятия (приёма) грузов и приложения дополнительных сил поддержания посадка сидящего на мели судна не изменится, то $V_i = V_2 = V_1$, а если посадка судна изменится, то $V_i = V_2$.

При всплытии судна $N = 0$.

При изменении посадки судна или при всплытии судна может измениться объём воды в затопленных отсеках ΣV_i, что должно учитываться при расчёте нагрузки сидящего на мели судна.

Если положение ватерлинии после снятия (приёма) грузов или приложения дополнительных сил поддержания неизвестно, то оно определяется по формулам и графикам РД 31.72.04-85 "Методики расчётов по статике и динамике корабля при проведении аварийно-спасательных операций и судоподъёме".

Определение V_0, V_1, V_2 производится по кривым площадей шпангоутов.

Расчёт нагрузки производится в табл. 10, при этом необходимо соблюдать условия п. 1.10.2.

I.IO.4. В различные моменты судоподъёма на затонувшее судно действуют следующие силы:

подъёмный вес;

опорная реакция грунта;

подъёмные силы;

силы отрывного сопротивления грунта;

силы сопротивления воды движению всплывающего судна.

Различают следующие основные положения судна, характеризующиеся действием определенных нагрузок:

судно на грунте, подготовленное к подъёму, до приложения подъёмных сил;

судно в момент отрыва от грунта (одной оконечностью или одновременно всей площадью контакта с грунтом);

судно при всплытии, находящееся в толще воды;

судно на поверхности воды до снятия подъёмных усилий.

В табл. II отмечены силы, действующие на поднимаемое судно, при различных его положениях.

I.IO.5. Во многих случаях с момента затопления судна до начала его подъёма проходит большой период времени, в течение которого возможны значительные изменения сил веса и сил плавучести. К таким изменениям состояния судна можно отнести откачку или утечку топлива, разгрузку грузов, снятие различных судовых конструкций и оборудования, образование наносов грунта в помещениях и на палубах, утечку воздуха из воздушных подушек отсеков, заделку пробоин, установку дополнительных конструкций, обеспечивающих приложение подъёмных усилий.

Изменение веса и плавучести приводит к изменению реакции грунта и силы отрывного сопротивления, что должно учитываться при определении необходимой величины подъёмных усилий.

I.IO.6. Анализ сил, действующих на судно в различные моменты подъёма (см. табл. II), показывает, что наибольшие нагрузки поднимаемое судно испытывает при отрыве от грунта, когда к подъёмному весу добавляется отрывное сопротивление грунта и, следовательно, возрастают подъёмные силы. Поэтому, определение нагрузки поднимаемого судна рекомендуется производить для случая, соответствующего моменту отрыва судна от грунта, когда судно подвержено действию наибольших нагрузок.

Таблица II

Силы, действующие на судно на различных этапах подъёма

Положение судна	Действующие силы				
	Подъёмный вес судна	Опорная реакция грунта	Отрывное сопротивление грунта	Сопротивление воды движению всплывающего судна	Подъёмная сила
I. Судно, подготовленное к подъёму (до приложения подъёмных сил)	+	+			
2. Судно в момент отрыва от грунта одной оконечностью	+	+	+		+
3. Судно в момент отрыва от грунта одновременно всей площадью контакта с грунтом	+		+		+
4. Судно в момент всплытия, находящееся в толще воды	+			+	+
5. Судно на поверхности воды до снятия подъёмных усилий	+				+

I.IO.7. В зависимости от наличия и расположения подъёмных сил, отрыв судна от грунта может быть произведен либо одновременно всей площадью контакта судна с грунтом, либо сначала одной оконечностью, что определяется проектом подъёма.

I.IO.8. В момент отрыва судна от грунта одновременно всей площадью контакта на судно действуют подъёмные силы, подъёмный вес и силы отрывного сопротивления. Величина подъёмных сил и расположение их по длине судна определяются следующими равенствами:

$$\Sigma Q_i = P_{под} + R_{отр} \qquad (29)$$

$$\Sigma Q_i X_{Qi} = P_{под} \cdot X_{под} + R_{отр} \cdot X_{отр} \qquad (30)$$

I.IO.9. В момент отрыва судна от грунта одной оконечностью на судно действуют подъёмные силы, подъёмный вес, силы отрывного сопротивления и реакция опоры оконечности о грунт. Величина подъёмных сил и расположение их по длине судна в этом случае определяются следующими равенствами:

$$\Sigma Q_i = P_{под} + R_{отр} - N \qquad (31)$$

$$\Sigma Q_i X_{Qi} = P_{под} \cdot X_{под} + R_{отр} \cdot X_{отр} - N \cdot X_N \qquad (32)$$

При этом подъёмные силы должны быть расположены так, чтобы выполнялось равенство

$$\left| \Sigma Q_i (X_N - X_{Qi}) \right| = \left| P_{под} (X_N - X_{под}) + R_{отр} (X_N - X_{отр}) \right| \qquad (33)$$

Величины Q_i, X_{Qi} и X_N определяются проектом подъёма с учётом имеемых подъёмных технических средств, возможных мест их приложения по длине судна, величины и формы поверхности контакта судна с грунтом, характера грунта и формы корпуса судна. Опорная реакция распределяется в одной - двух теоретических шпациях согласно правилу I п. I.3.5.

На рис. 6 и 7 условно показаны силы, действующие на судно при подъёме: на рис. 6 при отрыве от грунта одновременно всей площадью контакта, на рис. 7 - при отрыве от грунта одной оконечностью.

I.IO.IO. После определения величины всех действующих на судно сил расчёт суммарной нагрузки производится в табл. I2 (верхняя часть).

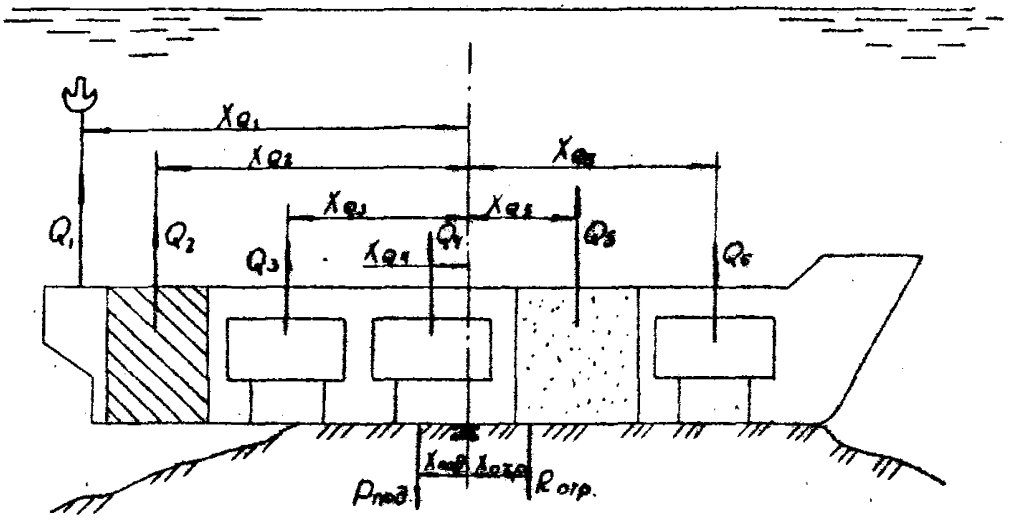


Рис. 6

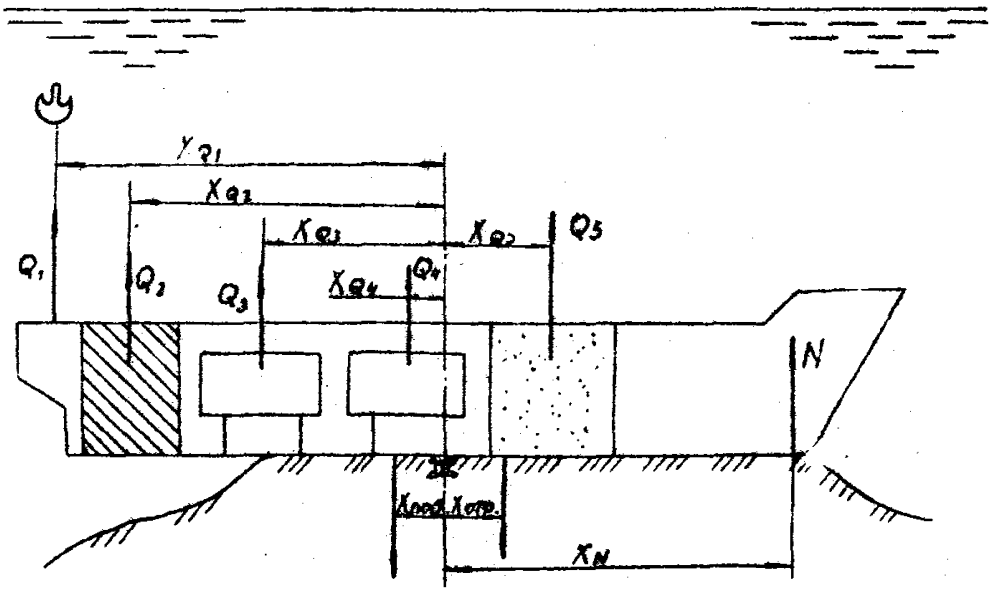


Рис. 7

I.IO.II. По мере подъёма судна, силы, действующие на него, изменяются и соответственно меняется суммарная нагрузка:

после отрыва от грунта исчезают силы присоса и опорная реакция и изменяются подъёмные силы;

при выходе судна из воды появляются дополнительные силы от веса вышедших из воды водоизмещающих объёмов конструкций, грузов, грунта, от веса воды в отсеках, расположенных выше ватерлинии, соответственно изменяются подъёмные силы;

при постановке судна на плав или при подготовке к буксировке могут появиться силы поддержания за счёт откачки воды из отсеков, расположенных ниже ватерлинии, с судна могут быть сняты некоторые грузы и конструкции, соответственно изменятся или совсем исчезнут подъёмные силы.

Все это необходимо учитывать, если возникнет необходимость определить нагрузку поднимаемого судна в каком-то заданном положении. Расчёт рекомендуется выполнять по форме табл. I2 (нижняя часть), принимая за исходную величину подъёмный вес судна.

I.II. Расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил

I.II.I. Вычисление изгибающих моментов и перерезывающих сил производить путем интегрирования нагрузки судна, определяемой по табл. II, I2.

Расчёт следует производить по форме табл. I3.

I.II.2. Приближенный расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил может быть произведен по методу интегральных коэффициентов, сущность которого изложена в последующих пунктах.

Расчёт по методу интегральных коэффициентов не требует подробной технической документации по аварийному судну и может быть использован при решении следующих задач:

расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил аварийного судна, находящегося на плаву с затопленными и поврежденными отсеками;

расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил судна на мели;

расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил при подъёме затонувшего судна.

Этот метод расчёта позволяет непосредственно учитывать сосредоточенные усилия, передающиеся на корпус от судоподъёмных понтонов и подъёмных кранов, а также дополнительные нагрузки от сил присоса, подъёмных сил сжатого воздуха или пенополистирола.

Таблица I2

Расчёт нагрузки при судоподъёме

Статьи нагрузки	Нагрузка, кН [тс]	Нагрузка на теоретическую шпацию						Суммы слева
		20–I9	I9–I8	I8–I7		2–I	I–0	
I	2	3	4	5		2I	22	23
I. Подъёмный вес								
2. Отливное сопротивление								
3. Подъёмные силы: сжатый воздух, пенополистирол, понтоны, плавкраны								
4. Опорная реакция грунта								
Суммарная нагрузка на шпацию								$\Sigma_1 \leq 0{,}005\,P_{под}$
Множители		-9,5	-8,5	-7,5		8,5	9,5	
Произведения								Σ_2
I. Подъёмный вес								
5. Изменение подъёмного веса								
6. Дополнительная нагрузка								
7. Снятая нагрузка								
8. Подъёмные силы								
Суммарная нагрузка на шпацию								$\Sigma_1' \leq 0{,}005\,P_{под}$
Множители		-9,5	-8,5	-7,5		8,5	9,5	
Произведения								Σ_2'

Примечания: I. Нагрузка по статьям I,2,6 принимается со знаком "+", по статьям 3,4,5,7,8 со знаком "–"

2. $\Sigma_2 \cdot \Delta L$ или $\Sigma_2' \cdot \Delta L \leq 0{,}001\,L \cdot P_{под}$

Таблица I3

Вычисление перерезывающих сил и изгибающих моментов

Пределы теоретических шаций	Нагрузка на шлацию, кН [тс]	Сумма (2) сверху	Интегральная сумма графы (3)	$-(3)\cdot\left[1-\frac{(10)}{20}\right]$	Перерезывающая сила (3)+(5) кН [тс]	$\frac{\Delta L}{2}\cdot(4)$	$-(7)_0\cdot\left(1-\frac{(10)}{20}\right)$	Изгибающий момент (7)+(8), кН·м [тс·м]	Номер теоретического шангоута
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
20-I9									20
I9-I8									I9
I8-I7									I8
I7-I6									I7
I6-I5									I6
I5-I4									I5
I4-I3									I4
I3-I2									I3
I2-II									I2
II-I0									II
I0- 9									I0
9 -8									9
8- 7									8
7- 6									7
6- 5									6
5- 4									5
4- 3									4
3- 2									3
2- I									2
I- 0									I
									0

I.II.3. Согласно этому методу, перерезывающая сила и изгибающий момент в произвольном сечении судна x, отсчитываемом от кормового перпендикуляра определяется по формулам:

$$N(x) = N_c(x) + N_к(x) + N_{сп}(x) \qquad (34)$$

$$M(x) = M_c(x) + M_к(x) + M_{сп}(x), \qquad (35)$$

где N_c, M_c – перерезывающая сила и изгибающий момент от сосредоточенных сил, кН (тс), кН м (тс м);

$N_к, M_к$ – перерезывающая сила и изгибающий момент от веса корпуса, кН(тс), кН·м (тс·м);

$N_{сп}, M_{сп}$ – перерезывающая сила и изгибающий момент от сил поддержания, кН (тс), кН·м (тс·м).

I.II.4. При расчёте по методу интегральных коэффициентов к сосредоточенным силам относят:

вес палубных надстроек и рубок с оборудованием и изоляцией;

вес якорного и рулевого устройства, и всех специальных устройств, расположенных выше палубы;

вес гребного вала и движителей;

вес машинной установки;

вес грузов, запасов, находящихся в трюмах, твиндеках и отсеках судна;

реакцию грунта, силу присоса, вес воды в затопленных отсеках, подъёмные силы от воздуха, пенополистирола, приходящиеся на одну теоретическую шпацию;

силы поддержания или усилия от кранов, понтонов, киллекторов, передаваемые на судно тросами.

I.II.5. Перерезывающая сила и изгибающий момент от сосредоточенных сил в сечении с координатой X определяются по формулам:

$$N(x) = \sum_{i=1}^{K} P_i, \qquad (36)$$

$$M(x) = \sum_{i=1}^{K} P_i (x - x_{pi}), \qquad (37)$$

где P_i – вес "сосредоточенного груза", кН (тс);

x_{pi} – отстояние центра тяжести i-го "груза" от кормового перпендикуляра, м;

K – число грузов, расположенных слева от сечения X.

При определении веса грузов, находящихся в воде, следует учитывать "потерю" их веса в воде.

I.II.6. Перерезывающую силу $N_K(x)$ и изгибающий момент $M_K(x)$ в произвольном сечении корпуса судна, вызванные действием распределенного веса корпуса, можно определить по формулам:

$$N_K(x) = a_K(x)\, P_K, \tag{38}$$

$$M_K(x) = b_K(x) \cdot a_K(x) \cdot L \cdot P_K, \tag{39}$$

где P_K – вес корпуса судна порожнем за вычетом веса сосредоточенных грузов, кН [тс] ;

$a_K(x)$ – интегральный коэффициент распределенного веса корпуса, значения которого для сухогрузных судов, для танкеров и рудовозов приведены в справочном приложении 3 ;

$b_K(x)$ – интегральный коэффициент момента распределенного веса корпуса, значения которого приведены в справочном приложении 3.

При определении $a_K(x)$ и $b_K(x)$ по таблицам для промежуточных значений $\frac{x}{L}$ и C_B , можно воспользоваться линейной интерполяцией.

I.II.7. Перерезывающую силу $N_{cn}(x)$ и изгибающий момент $M_{cn}(x)$ в произвольном сечении корпуса судна от сил поддержания можно определить по формулам:

$$N_{cn}(x) = -a_{cn}(x) \cdot \rho_в \cdot g \cdot V \tag{40}$$

$$M_{cn}(x) = -b_{cn}(x) \cdot L \cdot [a_{cn}(x) \cdot \rho_в \cdot g \cdot V], \tag{41}$$

где

$$a_{cn}(x) = A_{ocn}(x) + a_o(x) \cdot X_o \tag{42}$$

$$b_{cn}(x) = B_{ocn}(x) + b_o(x) \cdot X_o \tag{43}$$

$A_{ocn}(x)$, $B_{ocn}(x)$ – интегральные коэффициенты сил поддержания и моментов сил поддержания при стандартном положении центра величины $X_C = X_{CT}$ (приведены в справочном приложении 4);

$a_o(x)$, $b_o(x)$ – поправки к интегральным коэффициентам A_{ocn} и B_{ocn} на нестандартное положение центра величины (приведены в справочном приложении 4)

$$X_o = \frac{X_{CT} - X_C}{L} \tag{44}$$

$x_{cst} = (0{,}2C_b - 0{,}135)L$ – стандартное положение центра величины, м, "+" в нос от миделя, "-" в корму от миделя.

Интегральные коэффициенты $A_{осп}(x)$, $B_{осп}(x)$ и поправочные коэффициенты $a_{осп}(x)$ и $b_{осп}(x)$ вычислены для значений $C_b = 0{,}6 - 0{,}8$ и относительных осадок $\bar{d} = \frac{d_{I,2}}{d_{лгв}} = 0{,}4 - I{,}3$

где $d_{лгв}$ – осадка судна по летнюю грузовую ватерлинию, м.

I.II.8. Для выполнения расчётов по методу интегральных коэффициентов разработана программа расчёта общей прочности судна на ЭВМ – "ACCISHIP". Инструкция по подготовке исходной информации для этой программы приведена в рекомендуемом приложении 5.

I.II.9. В некоторых случаях, при оценке общей прочности аварийного судна, находящегося на плаву, необходимо учитывать изгибающие моменты, возникающие на волнении.

Величина волнового изгибающего момента может быть определена по формуле

$$M_B = K_\alpha \frac{h}{2} B L^2 \cdot x_0 \, x_1 \cdot K_b, \tag{45}$$

где $K_\alpha = 0{,}07\alpha - 0{,}026$ – для вершины волны;

$K_\alpha = -(0{,}054\alpha - 0{,}009)$ – для подошвы волны;

h – высота волны, учитывающая район, сезон и принятые условия плавания, м;

$$x_0 = (I{,}28 - \frac{2B}{L})\,(0{,}654 - I{,}8\frac{d_2}{L}), \tag{46}$$

α – коэффициент полноты ватерлинии;

$$x_1 = I{,}2 - 0{,}3\alpha - (5 + 40\frac{V}{\sqrt{gL}})\frac{M_{тв}}{\Delta_2 L} + (6 - 5{,}5\alpha)\frac{V}{\sqrt{gL}} \tag{47}$$

V – скорость судна (скорость буксировки), м/с;

K_b – коэффициент волнового момента по длине судна (табл.I4);

$M_{тв}$ – изгибающий момент на тихой воде в рассматриваемом сечении, определяемый по табл.I3 .

I.II.I0. Величина вертикальной перерезывающей силы, действующей на судно на волнении, по длине судна определяется по формуле

$$N_b = \frac{M_{b\,III}}{L} C_{NB}, \tag{48}$$

где $M_{b\,III}$ – волновой изгибающий момент на миделе, кН·м [тс·м];

C_{NB} – коэффициент, определяемый по табл. I4.

Таблица I4

Номера шпанго-утов	20	I9	I8	I7	I6	I5	I4
$K_б$	0,0	0,05	0,I0	0,22	0,35	0,52	0,68
C_{NB}	0,0	0,75	I,50	2,25	3,00	3,00	3,00
Номера шпанго-утов	I3	I2	II	I0	9	8	7
$K_б$	0,82	0,95	I,00	I,00	0,99	0,94	0,84
C_{NB}	2,60	2,20	I,80	I,80	I,80	2,I5	2,50
Номера шпанго-утов	6	5	4	3	2	I	0
$K_б$	0,74	0,58	0,43	0,28	0,I3	0,06	0,0
C_{NB}	2,85	3,20	3,20	3,20	2,I4	I,07	0,0

I.I2. Определение предельного изгибающего момента для корпуса судна

I.I2.I. Особенностью аварийно-спасательных и судоподъёмных работ является то обстоятельство, что они являются непредусмотренными при проектировании. Действующие на корпус судна при проведении этих операций нагрузки могут превышать эксплуатационные. Однако, эти нагрузки являются разовыми, статическими и действие их не может вызвать в корпусе судна усталостных разрушений. Поэтому в большинстве случаев при производстве аварийно-спасательных и судоподъёмных работ нет необходимости знать напряжения, действующие в отдельных элементах эквивалентного бруса.

Более удобным в этом случае является использование понятия предельного изгибающего момента.

I.I2.2. Предельным для корпуса судна называется изгибающий момент, при действии которого в наиболее удаленной от нейтральной оси связи появляются напряжения, равные нормативному пределу текучести материала.

При проведении аварийно-спасательных и судоподъёмных работ практически невозможно обеспечить посадку судна без крена и дифферента. Влияние дифферента учитывается при распределении сил поддержания по длине судна. При плавании судна с креном силы

поддержания и веса уже не лежат в плоскостях, параллельных ДП судна, отчего возникает косой изгиб. Наличие повреждений обшивки и продольных связей приводит к несимметрии поперечного сечения судна относительно ДП и увеличивает влияние косого изгиба на величину нормальных напряжений.

Из вышесказанного следует, что величину предельного момента корпуса аварийного судна следует определять из рассмотрения косого изгиба.

Предельный изгибающий момент в кН·м [тс·м] в данном сечении судна при косом изгибе определяется по формуле

$$M_{пр} = \frac{\sigma_н \cdot J_{yc}}{z_m} \beta \cdot 10^{-5} \qquad (49)$$

$$\left[M_{пр} = \frac{\sigma_н \cdot J_{yc}}{z_m} \cdot \beta \cdot 10^{-1} \right],$$

где

$$\beta = \frac{1}{\cos(\alpha+\theta) \cdot \left[1 + \frac{y_m}{z_m} \cdot \frac{J_{yc}}{J_{zc}} \cdot tg(\alpha+\theta)\right]} \qquad (50)$$

J_{yc}, J_{zc} – главные моменты инерции сечения, $см^4$;

y_m, z_m – координаты в главных осях точки "m", наиболее удаленной от нейтральной оси сечения, м;

θ – угол крена аварийного судна, положительный при крене на правый борт;

α – угол поворота главных осей относительно центральных осей сечения (положительный при повороте против часовой стрелке)

I.I2.3. Главные моменты инерции поперечного сечения судна и координаты z_m и y_m определяются следующим образом:

вычерчивается поперечное сечение судна с нанесением всех продольных связей корпуса и выбираются оси сравнения: $0z_c$ и $0y_c$ (положение осей и углов показано на рис. 8);

в табл. I5 записываются наименования, размеры и площадь сечения всех продольных связей, отстояние их центров тяжести от осей сравнения, после чего вычисляются статические моменты, переносные и центробежные моменты инерции относительно осей сравнения и собственные моменты инерции всех связей;

определяются координаты центра тяжести поперечного сечения судна по формулам:

$$z = \frac{B_y}{A}, \quad y = \frac{B_z}{A} \qquad (5I)$$

Расчетная схема эквивалентного бруса аварийного судна

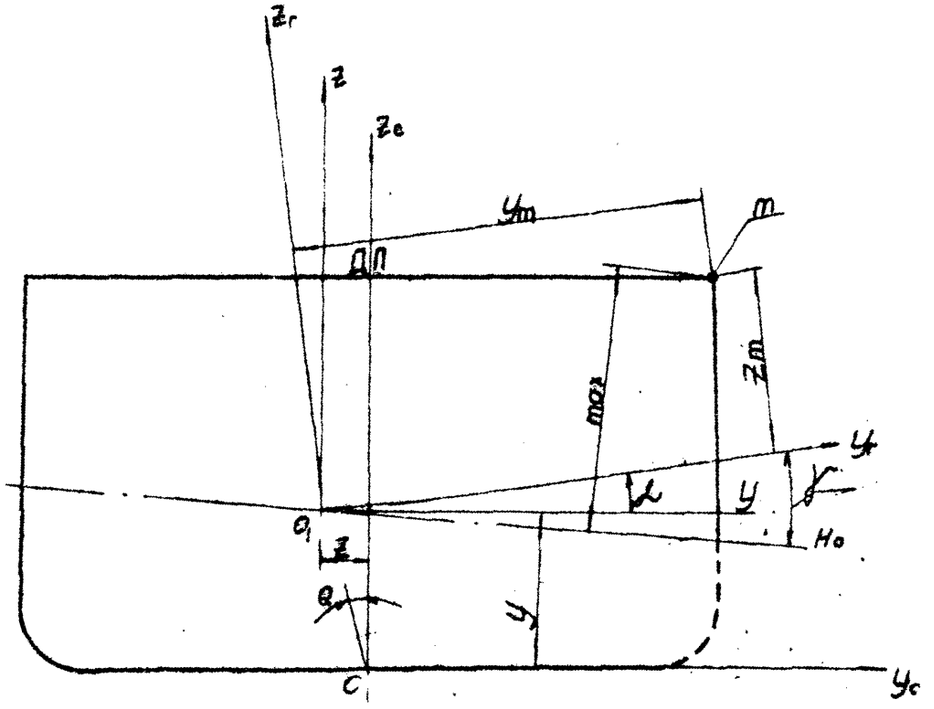


Рис. 8

Таблица 15

Расчёт элементов эквивалентного бруса без редуцирования

Наименование связей, их размеры в см	Площадь сечения связи, см^2	Отстояние ц.т. сечения связи от оси сравнения y_c z, м	Отстояние ц.т. сечения связи от оси сравнения z_c y, м	Ось y_c: Статический момент (2)x(3), см^2 м	Ось y_c: Переносный момент инерции (5)x(3), см^2 м	Ось y_c: Собственный момент инерции, см^2 м	Ось z_c: Статический момент (2)x(4), см^2 м	Ось z_c: Переносный момент инерции (8)x(4), см^2 м	Ось z_c: Собственный момент инерции, см^2 м	Центробежный момент инерции (2)x(3)x(4), см^2 м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Σ	A			B_y	C_y		B_z	C_z		C_{yz}

через центр тяжести сечения O_1 параллельно осям сравнения проводятся центральные оси O,z и O,y ;

определяются осевые и центробежный моменты инерции поперечного сечения судна относительно центральных осей по формулам:

$$J_y = C_y - \frac{B_y^2}{A}, \tag{52}$$

$$J_z = C_z - \frac{B_z^2}{A}, \tag{53}$$

$$J_{yz} = C_{yz} - z \cdot y \cdot A \tag{54}$$

определяется угол наклона главных центральных осей O,y_r и O,z_r относительно центральных осей из формулы:

$$tg2\alpha = \frac{2J_{yz}}{J_y - J_z} \tag{55}$$

Наносятся главные центральные оси на чертеж поперечного сечения судна:

вычисляются главные моменты инерции поперечного сечения судна по формулам:

$$J_{yr} = J_y \cdot \cos^2\alpha + J_z \cdot \sin^2\alpha - J_{yz} \cdot \sin 2\alpha, \tag{56}$$

$$J_{zr} = J_z \cdot \cos^2\alpha + J_y \cdot \sin^2\alpha + J_{yz} \cdot \sin 2\alpha. \tag{57}$$

Определяется угол наклона нейтральной оси к главной оси O,y_r по формуле

$$tg\gamma = -\frac{J_{yr}}{J_{zr}} \cdot tg(\theta + \alpha); \tag{58}$$

нейтральная ось наносится на чертеж поперечного сечения судна (положительный угол γ откладывается от главной оси O,y_r против часовой стрелки);

находится точка "m", наиболее удаленная от нейтральной оси сечения и определяются ее координаты y_m, z_m в главных центральных осях поперечного сечения судна.

I.I2.4. Величина предельного изгибающего момента в данном сечении должна быть уточнена с учётом возможной потери устойчивости какими-либо элементами конструкции.

.Учёт потери устойчивости производится путем редуцирования площади сечения потерявших устойчивость гибких связей, т.е. путем уменьшения их площади на определенную величину, определяемую коэффициентом редуцирования.

В общем случае величина предельного момента должна определяться для двух случаев: прогиба и перегиба судна. В первом случае происходит сжатие палубы и редуцированию подлежат потерявшие устойчивость гибкие связи, лежащие выше нейтральной оси сечения. Во втором случае происходит сжатие днища и редуцированию подлежат потерявшие устойчивость гибкие связи, лежащие ниже нейтральной оси сечения.

Коэффициенты редуцирования пластин, рис. 9, определяются по формулам:

$$\varphi = 0{,}5\,\frac{b}{a} + (1-0{,}5\,\frac{b}{a})\,\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{пред}} \qquad (59)$$

при сжатии пластины вдоль короткой стороны;

$$\varphi = 0{,}5 + 0{,}5\,\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{пред}} \qquad (60)$$

при сжатии пластины вдоль длинной стороны,

где a - длинная сторона пластины;

b - короткая сторона пластины;

$\sigma_{кр}$ - критические (эйлеровы) напряжения, при которых происходит потеря устойчивости пластины;

$\sigma_{пред}$ - сжимающие напряжения в пластине от предельного момента.

I.I2.5. Критические напряжения в $Н/мм^2$ [$кгс/см^2$] определяются по формулам:

$$\sigma_{кр} = 20\left(\frac{100\,t}{b}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right)^2 \qquad (6I)$$

$$\left[\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100t}{b}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right)^2\right]$$

для пластин, сжатых вдоль короткой стороны (поперечная система набора);

$$\sigma_{кр} = 80\,\left(\frac{100\,t}{b}\right)^2 \qquad (6Ia)$$

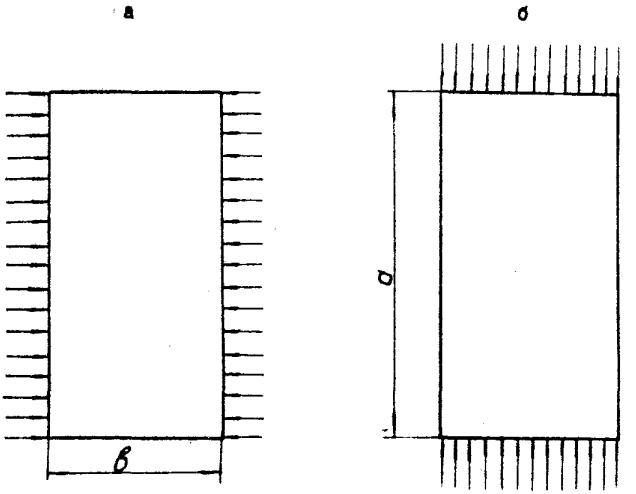
$$\left[\sigma_{кр} = 800\left(\frac{100t}{b}\right)^2\right]$$

для пластин, сжатых вдоль длинной стороны (продольная система набора);

$$\sigma_{кр} = 8{,}4\left(\frac{100\,t}{b_1}\right)^2 \qquad (62)$$

$$\left[\sigma_{кр} = 84\left(\frac{100t}{b_1}\right)^2\right]$$

для свободных поясков составных балок,



а - поперечная система набора;
б - продольная система набора.

Рис. 9

где t - толщина пластины, см;

a - короткая сторона пластины, см;

b - длинная сторона пластины, см.

I.I2.6. Сжимающие напряжения в пластине от действия предельного момента определяются по формуле

$$\sigma_{пред} = \frac{z}{z_m} \cdot \sigma_н \qquad (63)$$

где z - ордината центра тяжести сечения пластины в центральных осях координат, м;

z_m - отстояние наиболее удаленной точки поперечного сечения корпуса судна от нейтральной оси, м.

I.I2.7. Вычисление предельного момента $M'_{пр}$ с учётом редуцирования потерявших устойчивость пластин производится в следующем порядке:

в табл. I6 в графы 9,I2-I6 вносятся данные о эквивалентном брусе без редуцирования из строки Σ табл. I5;

определяются размеры, площадь и координаты в центральных осях всех пластин, расположенных между продольными ребрами жесткости, в сжатой зоне и вписываются в соответствующие графы табл. I6;

по формулам 6I,62 определяются $\sigma_{кр}$ и $\sigma_{пред}$ редуцируемых пластин;

по формулам 59-60 определяются редукционные коэффициенты, при этом если $\sigma_{кр} > \sigma_{пред}$ или если $\sigma_{кр} > \sigma_н$, то $\varphi = I$;

умножением редуцируемой площади на $(\varphi - I)$ определяются поправки к площадям пластин в связи с потерей устойчивости;

определяются координаты центров тяжести редуцируемых пластин в осях сравнения $0Y_c$ и $0Z_c$ и вычисляются статические моменты, переносные и центробежные моменты инерции поправок к площадям;

в соответствии с указаниями п.I.I2.3 по данным табл. I6 производится определение главных моментов инерции и координат в главных осях точки, наиболее удаленной от нейтральной оси редуцированного поперечного сечения;

определяется предельный момент $M'_{пр}$ по формуле 49.

Если $|M_{пр} - M'_{пр}| \leq 0{,}I\, M_{пр}$, то расчёт заканчивается. В противном случае производится новое редуцирование по предельному моменту $M'_{пр}$.

I.I2.8. При определении предельного изгибающего момента необходимо учитывать износ связей корпуса. Влияние износа на

Таблица I6

Расчёт элементов эквивалентного бруса с редуцированием

Наименование редуцируемых связей и их размеры в см	Редуцируемая площадь, $см^2$	Отстояние ц.т. связи от центральной оси, y, м	Отстояние ц.т. связи от центральной оси, z, м	$\sigma_{пред}$ Н/мм² / кгс/см²	$\sigma_{кр}$ Н/мм² / кгс/см²	φ	Поправка к площадям (2)х(ψ-1), $см^2$	Отстояние ц.т. связи от оси сравнения oy_c, м	Отстояние ц.т. связи от оси сравнения oz_c, м	Ось y_c: Статический момент (8)х(9), $см^2$ м	Ось y_c: Переносный момент инерции (II)х(9), $см^2$ м²	Ось z_c: Статический момент (8)х(I0), $см^2$ м	Ось z_c: Переносный момент инерции (I3)х(I0), $см^2$ м²	Центробежный момент инерции (8)х(9)х(I0), $см^2$ м²
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5
Эквивалентный брус без редуцирования							A			B_y	C_y	B_z	C_z	C_{yz}
Σ							A'			B'_y	C'_y	B'_z	C'_z	C'_{yz}

величину предельного момента может быть учтено уменьшением толщины связей (площади их сечения) при определении момента инерции.

Толщина связей может быть определена:

на основании фактических замеров;

снижением проектной толщины на величину $\ell\ell_0 T$, где $\ell\ell_0$ - - нормативное значение среднегодового износа связей, мм/год, T - возраст судна, годы.

Ориентировочно, влияние износа связей может быть учтено снижением величины главных моментов инерции на I,5% на каждый год возраста судна.

При значительном износе всех связей корпуса или при наличии общих повреждений, положение и объём которых трудно установить, производится оценка изменения момента сопротивления эквивалентного бруса при изменении его площадей по формулам:

$$\Delta W_{пал} = H\left(\sum_i \Delta F_i \cdot \varphi_i^{пал}\right),$$
$$\Delta W_{эн} = H\left(\sum_i \Delta F_i \cdot \varphi_i^{эн}\right), \qquad (64)$$

где ΔF_i - "потеря" площади в сечении i по высоте эквивалентного бруса,

H - высота эквивалентного бруса,

$\varphi_i^{пал}$, $\varphi_i^{эн}$ - коэффициенты, учитывающие влияние "потери" площади ΔF_i на изменение момента сопротивления (см.табл.I7)

Предельный момент такого судна (с износом или повреждениями продольных связей) определяется по формуле:

$$M_{пр}^{изн} = M_{пр} - \Delta W \sigma_н \qquad (65)$$

где $M_{пр}^{изн}$ - предельный момент с учетом износа (повреждений)

$M_{пр}$ - предельный момент для "целого" судна для точки "m" (наиболее удаленной от нейтральной оси сечения)

ΔW - изменение момента сопротивления для точки "m"

I.I2.9. Приближенная оценка предельного изгибающего момента (кН·м [тс·м]) поперечного сечения корпуса может быть произведена по формуле: $M_{пр} = W_{min} \cdot \sigma_н \cdot 10^{-3}$

$$[M_{пр} = W_{min} \cdot \sigma_н \cdot 10^{-5}] \qquad (66)$$

где W_{min} - минимальный момент сопротивления поперечного сечения корпуса, $см^3$, в средней части судна, предусмотренный правилами постройки.

Приближенная оценка $M_{пр}$ может применяться для морских транспортных судов длиной более 60 м, без существенных повреждений

Таблица I7

Район изменения площади	$\varphi^{пал}$	$\varphi^{дн}$
Танкеры		
Верхняя палуба с набором	0,85I	0,I7I
Днище с набором	0,I37	0,840
Ширстрек (0,ID) от палубы	0,726	0,I07
Скуловой пояс (0,ID) от основной	0,084	0,706
Борт вверху (0,64-0,90)D от основной	0,338	0,042
Борт посредине (0,37-0,64)D от основной	0,0I0	0,0I2
Борт внизу (0,I-0,37)D от основной	0,042	0,3I5
Сухогрузные однопалубные суда		
Верхняя палуба	0,863	0,250
Днище с набором	0,I08	0,8I8
Стрингеры и вертикальный киль	0,044	0,620
Настил двойного дна	0,007	0,438
Борт в верхней части (0,5D)	0,530	0,039
Борт в нижней части (0,5D)	0,046	0,050
Сухогрузные двухпалубные суда		
Верхняя палуба с набором	0,853	0,307
Нижняя палуба с набором	0,266	-0,058
Днище с набором	0,I08	0,786
Стрингеры и вертикальный киль	0,058	0,6I6
Настил двойного дна	0,0I9	0,486
Борт в твиндеке	0,5I7	0,06I
Борт в трюме: верхняя половина	0,083	0,067
нижняя половина	0,030	0,200
Сухогрузные трехпалубные суда		
Верхняя палуба	0,835	0,27I
Вторая палуба	0,349	-0,0I5
Третья палуба	0,076	-0,042
Настил двойного дна	0,049	0,570
Днище	0,I30	0,79I
Стрингеры и вертикальный киль	0,086	0,673
Борт: в верхнем твиндеке	0,576	0,I26
в нижнем твиндеке	0,I96	0,033
в трюме	0,028	0,I60

и при крене не более 10^0. В этих случаях W_{min} определяется по формуле:

$$W_{min} = C_n L^2 B (C_b + 0{,}7) \cdot K_2 \cdot \eta \cdot a_x \qquad (67)$$

где $$C_n = 10{,}75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{3/2} \qquad (68)$$

η - коэффициент равный: 1 при $\sigma_н$ =235 Н/мм^2 [2400 кгс/см^2]
0,83 при $\sigma_н$ =295 Н/мм^2 [3000 кгс/см^2],
0,68 при $\sigma_н$ =390 Н/мм^2 [4000 кгс/см^2]

K_2 - коэффициент равный: 1,0 - для палубы судов всех типов;
1,1 - для днища судов всех типов (кроме танкеров без второго дна);
1,04 - для танкеров без второго дна;

a_x - коэффициент равный: $x/0{,}4L$ для $x/L < 0{,}4$
1 для $0{,}4 \leqslant \frac{x}{L} \leqslant 0{,}6$
$\frac{L-x}{0{,}4L}$ для $\frac{x}{L} > 0{,}6$

Момент инерции в этом случае, в средней части судна на длине $0{,}4L$, определяется по формуле

$$J = 3 C_n \cdot L^3 \cdot B (C_b + 0{,}7) \cdot \eta \quad \text{см}^4 \qquad (69)$$

1.13. Оценка общей прочности судна при аварийно-спасательных и судоподъёмных операциях

1.13.1. Прочность судна при изгибе считается обеспеченной, если:

$$\frac{|M_{пр}|}{|M_{изг} + M_б|} \geqslant K = 1{,}2 - 1{,}5 \qquad (70)$$

Меньшее значение коэффициента запаса K принимается в тех случаях, когда исходные данные для определения $M_{изг}$ и $M_б$ более точны; большие значения K принимаются в тех случаях, когда исходные величины не могут быть точно установлены, или величины $M_{изг}$ и $M_б$ определялись по приближенным формулам.

В формуле (69) $M_б$ учитывается в тех случаях, когда прочность судна оценивается с учётом волнения при его постановке на плав или при необходимости его буксировки.

I.I3.2. Прочность судна на действие перерезывающих сил считается обеспеченной, если действующие в сечении максимальные касательные напряжения

$$\tau_{max} \leqslant 0{,}57\,\sigma_N$$

В зависимости от угла крена θ и угла поворота α главных центральных осей относительно центральных осей τ_{max} определяется по формулам:

$$\tau_{max} = \frac{I0\,(N_{пер} + N_б)\cdot S_y \cdot \cos(\alpha+\theta)}{J_{yr}\,\Sigma\, t_{бп}},$$

$$\left[\tau_{max} = \frac{(N_{пер} + N_б)\cdot S_y \cdot \cos(\alpha+\theta)}{J_{yr}\,\Sigma\, t_{бп}}\right], \qquad (7I)$$

при $(\alpha+\theta) < 20^0$

$$\tau_{max} = \frac{I0\,(N_{пер} + N_б)\cdot S_z \cdot \sin(\alpha+\theta)}{J_{zr}\,\Sigma\, t_{пд}} \qquad (72)$$

$$\left[\tau_{max} = \frac{(N_{пер} + N_б)\cdot S_z \cdot \sin(\alpha+\theta)}{J_{zr}\,\Sigma\, t_{пд}}\right]$$

при $(\alpha+\theta) > 20^0$

где J_{yr}, J_{zr} – главные моменты инерции поперечного сечения корпуса относительно главных осей $0Y_r$ и $0Z_r$ соответственно, определяемые по формулам 56,57, $см^4$

S_y, S_z – статические моменты поперечного сечения всех связей, расположенных выше (ниже) центральных осей $0Y$ и $0Z$, определяемые по табл. I8;

$\Sigma t_{бп}$, $\Sigma t_{пд}$ – соответственно суммарная толщина бортов или бортов и двух переборок (при двух переборках, симметричных относительно ДП) на оси $0Y$ и суммарная толщина палубы, днища и второго дна на оси $0Z$, см.

Таблица I8

Наименование связей и их размеры, см	Площадь сечения связи, $см^2$	Отстояние от центральной оси $0y$ или $0z$, см	Статический момент S_y или S_z (2)×(3), $см^3$
I	2	3	4
Суммы			$Sy\ (S_z)$

2. РАСЧЁТЫ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВАРИЙНОГО СУДНА

2.I. Общие положения

2.I.I. При аварийно-спасательных и судоподъёмных работах, кроме оценки общей прочности судна, может возникнуть необходимость оценить прочность отдельных перекрытий, балок(шпангоутов, бимсов, стоек переборок),пластин обшивки на воздействие местных нагрузок, а также приспособлений для подъёма (проушин,обухов).

2.I.2. В разделе приведена методика расчёта прочности перекрытий отсека, находящихся под воздействием нагрузки распределенной по площади перекрытия по тому или иному закону (давление воды, воздуха, пенополистирола),или локальной нагрузки,приложенной к небольшой площади перекрытия, в том числе и сосредоточенных сил.

Приводится также методика расчёта прочности обшивки корпуса на давление подъёмных стропов, прочности борта на давление судоподъёмных понтонов, прочности корпуса в местах установки подстропных подушек, прочности надстройки или рубки на прорезание ее брагой и прочности судоподъёмных проушин и обухов.

2.I.3. При оценке прочности перекрытия или отдельных балок корпуса судна существенным фактором является интегральная характеристика прочности конструкции, называемая несущей способностью. Несущая способность различных конструкций определяется в соответствии с правилами теории предельного состояния. Предельное состояние конструкции: это такое состояние, при котором конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, т.е. теряет возможность сопротивляться внешним воздействиям, получает недопустимые деформации или местные повреждения. Нагрузка, при которой конструкция переходит в предельное состояние, называется предельной нагрузкой.

2.I.4. При действии на балку или перекрытие предельной нагрузки в одном или в ряде их сечений образуются пластические шарниры вращения или пластические шарниры скольжения. Изгибающий момент, действующий в пластическом шарнире вращения, и перерезывающая сила, действующая в пластическом шарнире скольжения, называются предельными.

2.2. Определение предельных изгибающих моментов и перерезывающих сил балок

2.2.I. Предельный изгибающий момент -$M_т$ (кН·м [тс·м]) и предельная перерезывающая сила $N_т$ -(кН [тс]) для балки заданного сечения определяются по формулам:

$$M_т = 10^{-2} \cdot W_{пл} \cdot \sigma_н \qquad (73)$$

$$\left[M_т = W_{пл} \cdot \sigma_н \cdot 10^{-5} \right]$$

$$N_т = 10^{-1} \cdot \omega \frac{\sigma_н}{\sqrt{3}} \qquad (74)$$

$$\left[N_т = \omega \cdot \frac{\sigma_н}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} \right]$$

где $W_{пл}$ - пластический момент сопротивления сечения балки, $см^3$;

ω - площадь сечения стенки балки, $см^2$;

$\sigma_н$ - нормативный предел текучести, $Н/мм^2$ $кгс/см^2$

2.2.2. Пластические моменты сопротивления определяются по формулам, приведенным в табл. I9.

Пластический момент сопротивления ($см^3$) сложных профилей может быть определен по формуле

$$W_{пл} = \sum F_i \cdot |z_{i\,но}|, \qquad (75)$$

где F_i - площадь i -го элемента сечения балки, расположенного выше или ниже нейтральной оси сечения, $см^2$;

$z_{i\,но}$ - отстояние центра тяжести i -вого элемента сечения балки, расположенного выше или ниже нейтральной оси балки, см.

Нейтральная ось делит площадь сечения балки пополам.

2.2.3. При определении пластического момента сопротивления балки необходимо учитывать возможность потери устойчивости каких-либо сжатых элементов балки, как правило, присоединенного пояска. Недостаточная устойчивость учитываться должна редуцированием площади сечения пояска.

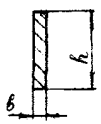
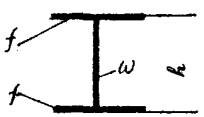
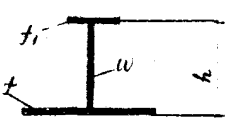
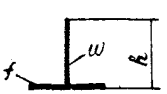
В случае изгиба балки в предельном состоянии ширина присоединенного пояска $b_{пр}$ в сантиметрах определяется в растянутой зоне, как $b_{пр} = \frac{l_б}{6}$ или $b_{пр} = C$, в зависимости от того, что меньше,

где $l_б$ - пролет балки, см;

C - расстояние между однотипными балками, см.

В сжатой зоне ширина присоединенного пояска определяется с

Таблица I9

Сечение	Пластический момент сопротивления
	$\frac{b h^2}{4}$
	$h\left(f + \frac{w}{4}\right)$
	$f_1 + w > f$ $h\left[f_1 + \frac{w}{2} - \frac{(f_1+w-f)^2}{4w}\right]$ $f_1 + w < f$ $h\left[f_1 + \frac{w}{2}\right]$
	$\frac{1}{4} h (w + f)$
	1,2 W

учётом его устойчивости:

$$b'_{пр} = (0{,}5 + 0{,}5 \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_н}) b_{пр}, \quad (76)$$

если пластина примыкает к балке длинной стороной:

$$b'_{пр} = \left[0{,}5 + (\frac{b}{a} - 0{,}5) \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_н} \right] b_{пр}, \quad (77)$$

если пластина примыкает к балке короткой стороной,

где b - короткая сторона пластины, примыкающей к балке;

a - длинная сторона пластины, примыкающей к балке.

$\sigma_{кр}$ для пластин, сжатых вдоль короткой стороны, определяется по формуле 61, а для пластин, сжатых вдоль длинной стороны по формуле 62.

Если $\sigma_э > \sigma_н$, то $b'_{пр} = b_{пр}$

Площадь присоединенного пояска f, см^2

$$f = b'_{пр} \cdot t \quad (78)$$

2.2.4. При определе :и предельной перерезывающей силы в пластическом шарнире скольжения площадь стенки балки ω (см^2) должна быть определена с учётом возможной потери устойчивости при сдвиге.

$$\omega = h \cdot t \cdot \varphi, \quad (79)$$

где h - высота стенки балки, см;

t - толщина стенки балки, см;

φ - редукционный коэффициент

$$\varphi = \frac{\tau_э \sqrt{3}}{\sigma_н} \quad \text{при} \quad \tau_э \leq \frac{\sigma_н}{2\sqrt{3}}, \quad (80)$$

$$\varphi = \frac{0{,}975 \tau_э}{0{,}95 \tau_э + 0{,}25 (\frac{\sigma_н}{\sqrt{3}})^2} \quad при \frac{\sigma_н}{2\sqrt{3}} \leq \tau_э \leq \sqrt{\frac{10}{3}} \sigma_н, \quad (81)$$

$$\varphi = 1{,}0 \quad \text{при} \quad \tau_э \geq \sqrt{\frac{10}{3}} \sigma_н \quad (82)$$

$$\tau_э = K \lambda 20 (\frac{100\, t}{b_1})^2 \quad (83)$$

$$\left[\tau_э = K \lambda 200 (\frac{100\, t}{b_1})^2 \right],$$

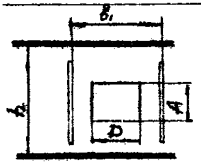
где K - коэффициент, зависящий от отношения сторон пластины по табл. 20;

b_1 - см. рисунок табл. 20, см;

λ - коэффициент, учитывающий влияние вырезов в стенке балки - по табл. 21.

Таблица 20

Значения коэффициента K



$\frac{h}{\ell_1}$	I,0	I,2	I,4	I,6	I,8	2,0	2,6	3,0	∞
k	9,4	8,0	7,3	7,0	6,8	6,6	6,3	6,I	5,7

Таблица 2I

Значения коэффициента λ

D/ℓ_1 \ A/h	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,1	0,978	0,957	0,937	0,9I8	0,902	0,889
0,2	0,957	0,9I5	0,875	0,838	0,807	0,778
0,3	0,937	0,8I5	0,8I7	0,762	0,7I5	0,672
0,4	0,9I8	0,838	0,762	0,693	0,628	0,573
0,5	0,902	0,807	0,7I5	0,628	0,550	0,484
0,6	0,889	0,778	0,672	0,573	0,484	0,403

2.2.5. Если продольные балки испытывают растяжение (сжатие) от общего изгиба корпуса судна, предельный изгибающий момент $M^{\delta}_{пр}$ и предельная перерезывающая сила $N^{\delta}_{пр}$ для этих балок определяется по формулам:

$$M^{\delta}_{пр} = M_T \sqrt{1-\gamma^2}\ , \qquad (84)$$

$$N^{\delta}_{пр} = N_T \sqrt{1-\gamma^2}\ , \qquad (85)$$

где M_T и N_T – предельные изгибающие моменты и перерезывающие силы для балки без учёта общего изгиба, кН·м [тс м], кН [тс]

$$\gamma = \frac{\sigma_{общ}}{\sigma_H}\ , \qquad (86)$$

$\sigma_{общ}$ – максимальные изгибающие напряжения от общего изгиба корпуса, действующие в присоединенном пояске балки, Н/мм^2 [кгс/см^2]

2.3. Расчёт предельной прочности однопролетных балок

2.3.I. Предельная сосредоточенная нагрузка P кН [тс] или интенсивность q , кН/м [тс/м] предельной распределенной нагрузки определяются по формулам

$$P = \alpha_1 M_{пр} \tag{87}$$

$$q = \alpha_1 M_{пр} \tag{88}$$

при образовании пластического шарнира вращения

$$P = \alpha_2 N_{пр} \tag{89}$$

$$q = \alpha_2 N_{пр} \tag{90}$$

при образовании пластического шарнира скольжения,

где α_1 и α_2 – коэффициенты, определяемые по табл. 22 в зависимости от вида внешней нагрузки на балку и защемлении концов

В качестве предельной нагрузки на балку принимается меньшая из нагрузок q или P .

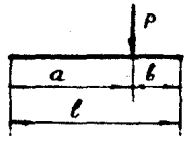
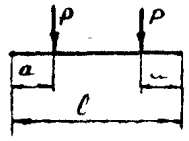
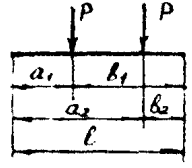
2.4. Расчёт предельной прочности перекрытий на действие распределенной нагрузки

2.4.I. Судовые перекрытия следует рассматривать как плоские стержневые системы, состоящие из пересекающихся балок двух направлений, перпендикулярных друг другу и опертых на жесткий контур. Закрепление балок на контуре принято как жестко-защемленное или свободно-опертое. Жесткое защемление принимается в тех случаях, когда смежная конструкция имеет такой же или больший пластический момент сопротивления, как и у рассматриваемой балки, в противном случае балка считается свободно-опертой. Балки перекрытия в общем случае могут иметь различные пластические моменты сопротивления, различную длину и располагаются несимметрично относительно контура перекрытия. При выводе расчётных формул рассмотрены перекрытия, состоящие из "холостых" продольных или поперечных балок (бимсы, шпангоуты, продольные балки, стойки переборок), рамных поперечных балок (рамные шпангоуты, рамные бимсы, консольные бимсы, рамные стойки переборок, флоры) и перекрестных связей (карлингсы, стрингеры, вертикальный киль, вельфы переборок).

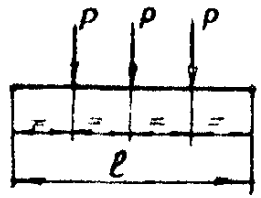
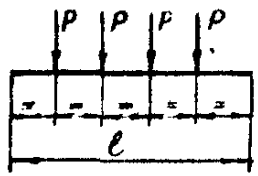
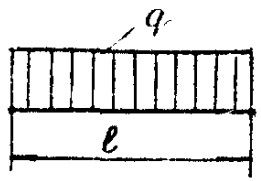
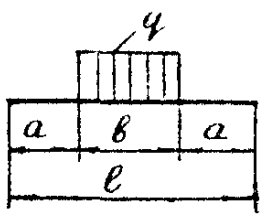
Внешняя нагрузка на перекрытие принята равномерно распределенной, независимо от действительного характера нагрузки (по

Таблица 22

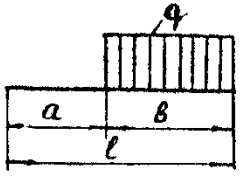
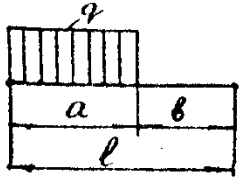
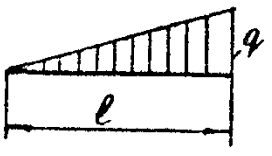
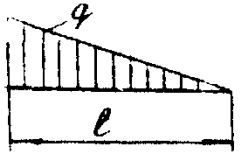
Коэффициенты α_1 и α_2 для определения предельной нагрузки однопролетных балок

Схема загрузки балки	Схема закрепления концов балки							
								
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I. 	$\frac{\ell}{a\,b}$	$\frac{\ell}{a}$ при $a>b$ $\frac{\ell}{b}$ при $a<b$	$\frac{2\ell}{a\cdot b}$	2	$\frac{\ell+b}{a\,b}$	$\frac{\ell}{b}$ при $a\leq b$ 2 при $a>b$	$\frac{1}{a}$ $\frac{1}{\ell}$ при $a=\ell$	I
2. 	$\frac{I}{a}$	I	$\frac{2}{a}$	I	$\frac{\ell+a}{a\,b}$	I	$\frac{I}{\ell}$	$\frac{I}{2}$
3. 	$\frac{\ell}{a_1(b_1+b_2)}$ или $\frac{\ell}{b_2(a_1+a_2)}$	$\frac{\ell}{b_1+b_2}$ или $\frac{\ell}{a_1+a_2}$	$\frac{2\ell}{a_1(b_1+b_2)}$ или $\frac{2\ell}{b_2(a_1+a_2)}$	I	$\frac{\ell+a_1}{a_1(b_1+b_2)}$ или $\frac{\ell+a_2}{b_2(a_1+a_2)}$	$\frac{I}{2}$ при $a_1<b_2$ 1 при $a_1>b_2$	$\frac{1}{a_1+a_2}$ $\frac{1}{2a_1+b_2}$ при $a_2=\ell$	$\frac{I}{2}$

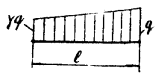
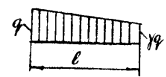
Продолжение табл. 22

I	2	3	4	5	6	7	8	9
4. 	$\frac{2}{\ell}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{\ell}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{\ell}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2\ell}$	$\frac{1}{3}$
5. 	$\frac{5}{3\ell}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{10}{3\ell}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{3\ell}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5\ell}$	$\frac{1}{4}$
6. 	$\frac{8}{\ell^2}$	$\frac{2}{\ell}$	$\frac{16}{\ell^2}$	$\frac{2}{\ell}$	$\frac{11,65}{\ell^2}$	$\frac{2}{\ell}$	$\frac{2}{\ell^2}$	$\frac{1}{\ell}$
7. 	$\frac{8}{(2-\frac{в}{\ell})\ell в}$	$\frac{2}{в}$	$\frac{16}{(2-\frac{в}{\ell})\ell в}$	$\frac{2}{\ell}$				

Продолжение табл. 22

I	2	3	4	5	6	7	8	9
8. 	$\frac{8}{(1+\frac{a}{\ell})^2 b^2}$	$\frac{1}{(1-\frac{b}{2\ell})\cdot b}$	$\frac{16}{b^2(1+\frac{a}{\ell})^2}$	$\frac{2}{b}$	$\frac{3\ell^2 a+2\ell\sqrt{2\ell^2+a^2}}{b^2(\ell+a^2)}$	$\frac{2}{b}$	$\frac{2}{b(\ell+a)}$	$\frac{1}{b}$
9. 	$\frac{8}{(1+\frac{b}{\ell})^2 a^2}$	$\frac{1}{(1+\frac{a}{2\ell})\cdot a}$	$\frac{16}{a^2(1+\frac{b}{\ell})^2}$	$\frac{2}{a}$	$\frac{3\ell^2 a+2\ell\sqrt{2\ell^2-a^2}}{b^2(\ell-a)^2}$	$\frac{\ell}{a(a+2\ell)}$	$\frac{2}{a^2}$	$\frac{1}{a}$
10. 	$\frac{15,6}{\ell^2}$	$\frac{3}{\ell}$	$\frac{31,2}{\ell^2}$	$\frac{4}{\ell}$	$\frac{21,53}{\ell^2}$	$\frac{4}{\ell}$	$\frac{3}{\ell^2}$	$\frac{2}{\ell}$
11. 	$\frac{15,6}{\ell^2}$	$\frac{3}{\ell}$	$\frac{31,2}{\ell^2}$	$\frac{4}{\ell}$	$\frac{24}{\ell^2}$	$\frac{3}{\ell}$	$\frac{6}{\ell^2}$	$\frac{2}{\ell}$

Продолжение табл. 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12. 	$\frac{15,59}{\ell^2(1+0,95\gamma)}$	$\frac{1,8}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{3I,18}{\ell^2(1+0,95\gamma)}$	$\frac{4}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{2I,58}{\ell^2(1+0,85\gamma)}$	$\frac{4}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{}{\ell^2(4-\gamma)}$	
13. 	$\frac{15,59}{\ell^2(1+0,95\gamma)}$	$\frac{1,8}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{3I,18}{\ell^2(1+0,95\gamma)}$	$\frac{4}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{24}{\ell^2(1+1,06\gamma)}$	$\frac{1,8\ N_{пр}}{\ell(1+\gamma)}$	$\frac{6}{\ell^2(2+\gamma)}$	

треугольнику, по трапеции), так как такая замена незначительно сказывается на величине предельной нагрузки, выдерживаемой перекрытием (ошибка в величине предельной нагрузки составляет не более 3%).

2.4.2. Точный расчёт предельной нагрузки для конкретного перекрытия является сложной и трудоёмкой задачей. Формулы, таблицы и зависимости для такого расчёта приведены в работах, указанных в справочном приложении 7 п. I и основаны на использовании статического, кинематического или комбинированного методов.

В РД даны приближенные методы расчёта, при использовании которых в некоторых случаях не полностью используется предельная прочность перекрытия, что для расчётов при проведении аварийно-спасательных и судоподъёмных операций вполне допустимо.

2.4.3. Обозначения, принятые в разделе 2.4:

l - длина перекрытия, м ;

B - ширина перекрытия, м;

a - шпация, м;

b - расстояние между продольными балками, м;

M, M_1, M_2, N, N_1, N_2 - продольные изгибающие моменты и перерезывающие силы для "холостых" балок в пролете, на левой опоре, на правой опоре, кН·м, кН [тс·м, тс] ;

$M^{пс}, M_1^{пс}, M_2^{пс}, N^{пс}, N_1^{пс}, N_2^{пс}$ - предельные изгибающие моменты и перерезывающие силы перекрестной связи в пролете, на левой опоре, на правой опоре, кН·м, кН [тс·м , тс] ;

$M^{рб}, M_1^{рб}, M_2^{рб}, N^{рб}, N_1^{рб}, N_2^{рб}$ - предельные изгибающие моменты и перерезывающие силы рамной балки в пролете на левой опоре, на правой опоре, кН·м, кН [тс·м, тс]

Остальные обозначения показаны на рисунках или определены в тексте.

Предельные моменты на опорах равны нулю при свободно-опертых концах балок.

Предельные моменты на опорах равны предельному моменту в пролетах при жесткозаделанных концах балок.

Предельные перерезывающие силы в пролетах и на опорах равны при любом закреплении концов балки.

2.4.4. Перекрытие, состоящее из большого количества (более 4) "холостых" поперечных балок и одной перекрестной продольной связи, расположенной несимметрично относительно кромок перекрытия. Закрепление концов "холостых" балок и перекрестной связи одинаковое или различное на концах балки (жестко-защемленное или свободно-опертое).

Схема перекрытия указана на рис. I0.

Предельная нагрузка перекрытия - q (кПа/м^2 [тс/м^2]) определяется, как минимальная, из получаемых по формулам:

$$q_1 = \frac{4(3M+M_2)}{a\,b_2^2} \qquad (9I)$$

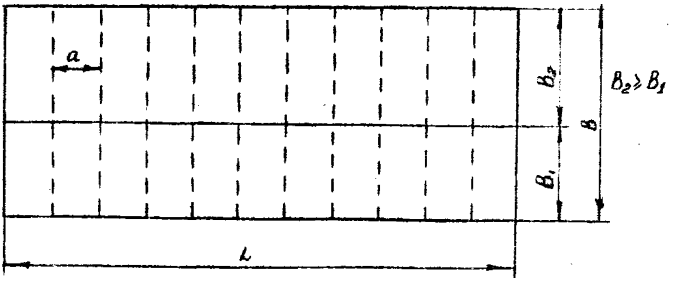


Рис. I0

$$q_2 = \frac{2N_2}{a\,B_2} \qquad (92)$$

$$q_3 = 2\left[\frac{M_2+M}{aBX_0} + \frac{M_1+M}{aB(B-X_0)}\right] + \frac{8B_1}{BL^2(B-X_0)}\left(2M^{nc} + M_1^{nc} + M_2^{nc}\right) \qquad (93)$$

$$X_0 = \frac{B}{2} + \frac{M_2 - M_1 - 4\frac{aB_1}{L^2}\left(2M^{nc} + M_1^{nc} + M_2^{nc}\right)}{q_3\,a\cdot B} \qquad (94)$$

(X_0 определяется последовательными приближениями, начиная с $\frac{B}{2}$ с последующей подстановкой q_3 в формулу 9Z)

$$q_3 = 2\left[\frac{M_2+M}{a\cdot B\cdot X_0} + \frac{M_1+M}{aB(B-X_0)}\right] + \frac{2B_1(N_1^{nc}+N_2^{nc})}{L\cdot B(B-X_0)}, \qquad (95)$$

$$X_0 = \frac{B}{2} - \frac{M_2-M_1-\frac{aB_1}{2}(N_1^{nc}+N_3^{nc})}{q_4\cdot a\cdot B} \qquad (96)$$

(определяется последовательными приближениями, начиная с $\frac{B}{2}$ с последующими подстановками q_4 в формулу 94)

$$q_5 = 2\frac{N_2B+M_1}{aB^2} + 16\frac{B_1}{B^2L^2}\left(M_1^{nc}+M_2^{nc}\right), \qquad (97)$$

$$q_6 = 2\frac{N_2B+M_1}{aB^2} + 2\frac{B_1}{B^2L}\left(N_1^{nc}+N_2^{nc}\right) \qquad (98)$$

при $N_1 > N_2$ и если

$$N_1 - N_2 \approx 8\frac{M_1^{nc}+M_2^{nc}}{L^2}\cdot a\left(1-\frac{B_2}{B}\right),$$

то q следует определить по формуле:

$$q_7 = \frac{N_1+N_2}{aB} + \frac{8}{L^2B}\left(M_1^{nc}+M_2^{nc}\right), \qquad (99)$$

если $N_1 - N_2 \approx \frac{a}{L}\left(N_1^{nc}+N_2^{nc}\right)\left(1-2\frac{B_2}{B}\right)$, то

$$q_8 = \frac{N_1+N_2}{a\cdot B} + \frac{N_1^{nc}+N_2^{nc}}{BL} \qquad (100)$$

2.4.5. Перекрытие, состоящее из большого количества (более 4) продольных "холостых" балок и нескольких рамных поперечных балок. Закрепление концов всех "холостых" балок на контуре и на рамных балках одинаковое. Закрепление концов всех рамных балок на контуре произвольное (жестко-защемленное или свободно-опертое) и может отличаться у разных блоков.

Схема перекрытия указана на рис. II.

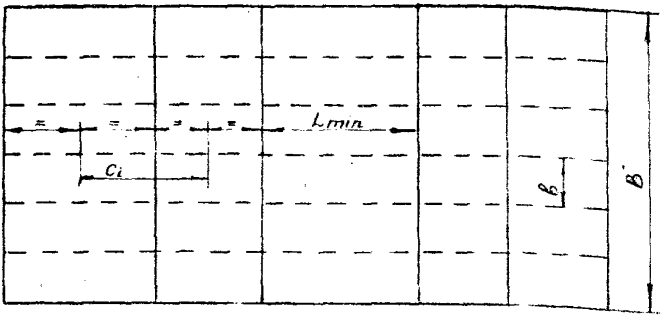


Рис. II

Предельная нагрузка перекрытия q , (кПа/м^2 [тс/м^2] определяется как минимальная, из получаемых по формулам:

$$q_1 = \frac{16\,M}{b\,L^2_{i(max)}}\,, \qquad (101)$$

$$q_2 = \frac{2\,N}{b\,L_{i(max)}}\,, \qquad (102)$$

$$q_3 = \frac{\alpha_1\,M^{pb}}{C_i}\,, \qquad (103)$$

$$q_4 = \frac{\alpha_2\,N^{pb}}{C_i} \qquad (104)$$

Коэффициенты α_1 и α_2 принимаются по табл. 22, в зависимости от закрепления концов рамной балки. При определении α_1 и α_2 в качестве ℓ принимается ширина перекрытия B .

2.4.6. Перекрытие, состоящее из большого количества поперечных "холостых" балок и 3-5-7 продольных перекрестных связей, расположенных симметрично по ширине перекрытия. Поперечные "холостые" балки принимаются жестко-защемленные и свободно-опертые на любой стороне контура.

Схема перекрытия указана на рис. I2

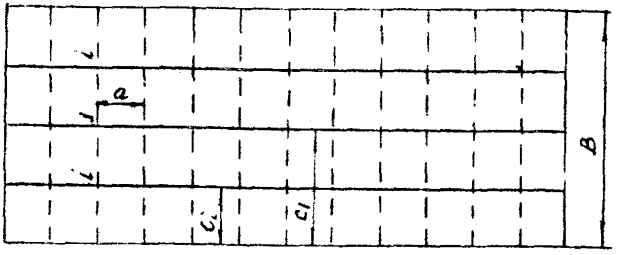


Рис. I2

Предельная нагрузка перекрытия q (кПа/м^2 [тс/м^2]) определяется, как минимальная, из получаемой по формулам:

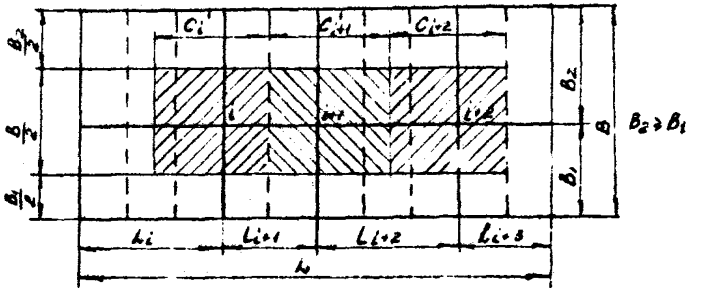
$$q_1 = \frac{4(2M + M_1 + M_2)}{aB^2} + \frac{4N^{nc_1}}{BL} + \frac{8\sum_{i=1}^{m}(2N^{nc_i}\frac{c_i}{B})}{BL}, \qquad (I05)$$

$$q_2 = \frac{1}{BL}\left[2N^{nc_1} + 2\sum_{i=1}^{m}(N^{nc_i}) + (N_1 + N_2)\frac{L}{a}\right], \qquad (I06)$$

где m – число перекрестных связей по одну сторону от центральной.

2.4.7. Перекрытие, состоящее из большого количества поперечных или продольных "холостых" балок, одной продольной перекрестной связи и нескольких поперечных рамных балок. Закрепление балок и перекрестной связи на контуре произвольное. Схема перекрытия показана на рис. I3.

а)



б)

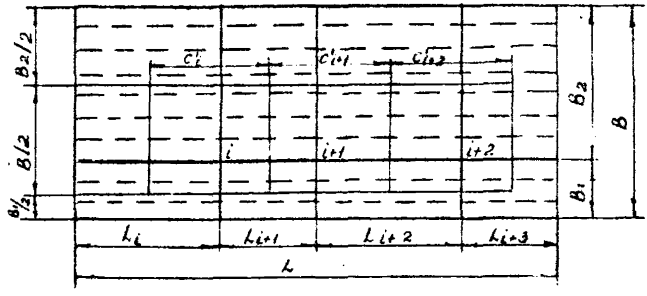


Рис. I3

Предельная нагрузка для каждого из узлов пересечения рамной балки с перекрестной связью определяется по формулам:

$$q_i = \frac{2(\alpha_1 M_1^{РБ} + \alpha_{1i} M^{ПС})}{C_i B} \quad \text{или} \qquad (107)$$

$$q_i = \frac{2(\alpha_2 N_i^{РБ} + \alpha_{2i} N^{ПС})}{C_i B}, \qquad (108)$$

и принимается наименьшее.

В качестве расчётного значения q_0 принимается минимальное по всем узлам.

Коэффициенты α_1 и α_2 определяются по табл. 22 в зависимости от закрепления концов связей:

для рамных балок α_1 и α_2 определяются по схеме I,

для перекрестной связи по схеме I при одной рамной балке, по схеме 2 или 3 при двух рамных балках, схеме 4 - при трех рамных балках, по схеме 5 - при четырех рамных балках. При пяти и более рамных балках $\alpha_1 = 8/n\ell$ и $\alpha_2 = 2/n$, где n - число рамных балок. При определении коэффициентов α_1 и α_2 принимается для рамных балок $\ell = B$, для перекрестной связи $\ell = L$.

После этого проверяется прочность холостых балок на участках между рамными балками, опорным контуром и перекрестной связью по формулам 87 и 89.

В качестве расчётного значения q для перекрытия принимается минимальное.

2.4.8. Для перекрытий с одной перекрестной связью ее можно не учитывать, если:

$$M^{nc} \leqslant \frac{L^2}{20 \cdot B \cdot a} \cdot M, \quad \text{и} \tag{109}$$

$$M^{nc} \leqslant \frac{7L^2}{1280\,a} \cdot N, \tag{110}$$

$$N^{nc} \leqslant \frac{4L}{10Ba} \cdot M \tag{111}$$

$$N^{nc} \leqslant \frac{7L}{160a} \cdot N \tag{112}$$

2.4.9. Перекрытия, состоящие из большого количества поперечных или продольных "холостых" балок, нескольких продольных перекрестных связей (2-5) и нескольких рамных поперечных балок.

Для таких перекрытий определяется предельная нагрузка наиболее слабого узла по формулам 107, 108 или по этим же формулам просчитывается ряд узлов и выбирается значение минимальной нагрузки. Расчёт производится в соответствии с указаниями 2.4.7, но коэффициенты α_1 и α_2 для рамных балок выбираются по табл. 22 в зависимости от количества узлов (количества перекрестных связей). В дальнейшем проверяется прочность холостых балок на участках между рамными балками, опорным контуром и перекрестными связями по формулам 88,90.

2.4.10. Несущая способность жестких пластин обычно значительно выше несущей способности балок перекрытия. Однако, в некоторых случаях, при тонких или изношенных пластинах обшивки перекрытий они могут разрушаться раньше всего перекрытия.

Предельную нагрузку пластин (МПа [кгс/см^2]) определяют по формуле:

$$q = 46\sigma_H \frac{t^2}{b^2} \cdot \frac{a/b + 1}{a/b - 0{,}33}; \tag{113}$$

где t - толщина пластины с учётом износа, см;

b - короткая сторона пластины, см;

a - длинная сторона пластины, см.

2.5. Расчёт предельной прочности перекрытий на действие сосредоточенных сил

2.5.I. При расчёте перекрытий на действие сосредоточенных сил предполагаем, что сосредоточенная сила приложена к рамной балке в точках ее пересечения с другими рамными балками и что к каждой рамной балке приложено не больше двух сосредоточенных сил. Силы направлены перпендикулярно плоскости перекрытия. Других нагрузок на перекрытие нет.

2.5.2. При действии сосредоточенных сил на перекрытие наиболее вероятным вариантом разрушения будет локальное разрушение перекрытия, т.е. разрушение участка перекрытия, к которому приложена сила, ограниченного соседними рамными связями (или опорным контуром).

Разрушение может произойти вследствие обрушения всех балок нагруженного участка по контуру, либо обрушения части балок и появления шарниров вращения в остальных балках.

2.5.3. На рис. I4 представлены различные варианты участков перекрытий и расположения сил.

2.5.4. Предельная величина силы (кН [тс]), которую может выдержать перекрытие, является суммой предельных сил рамных балок, пересекающихся в точке приложения силы.

$$P = P_1' + P_2'' \qquad (II4)$$

Величина сил зависит от закрепления концов рамных балок, от того, поддерживаются ли они холостыми балками или нет, и от того, одна или две силы приложены к балке.

Эти силы определяются по формулам:

для рамных балок, не поддерживаемых холостыми балками:

$$P_1' = \alpha_1 \cdot M^{РБ} \qquad (II5)$$

$$P_2 = \alpha_2 \cdot N^{РБ}, \qquad (II6)$$

где α_1 и α_2 определяются по табл. 2I в зависимости от закрепления концов рамных балок, по пункту I - при одной силе и по пункту 3 - при двух силах;

для рамных балок, поддерживаемых холостыми балками:

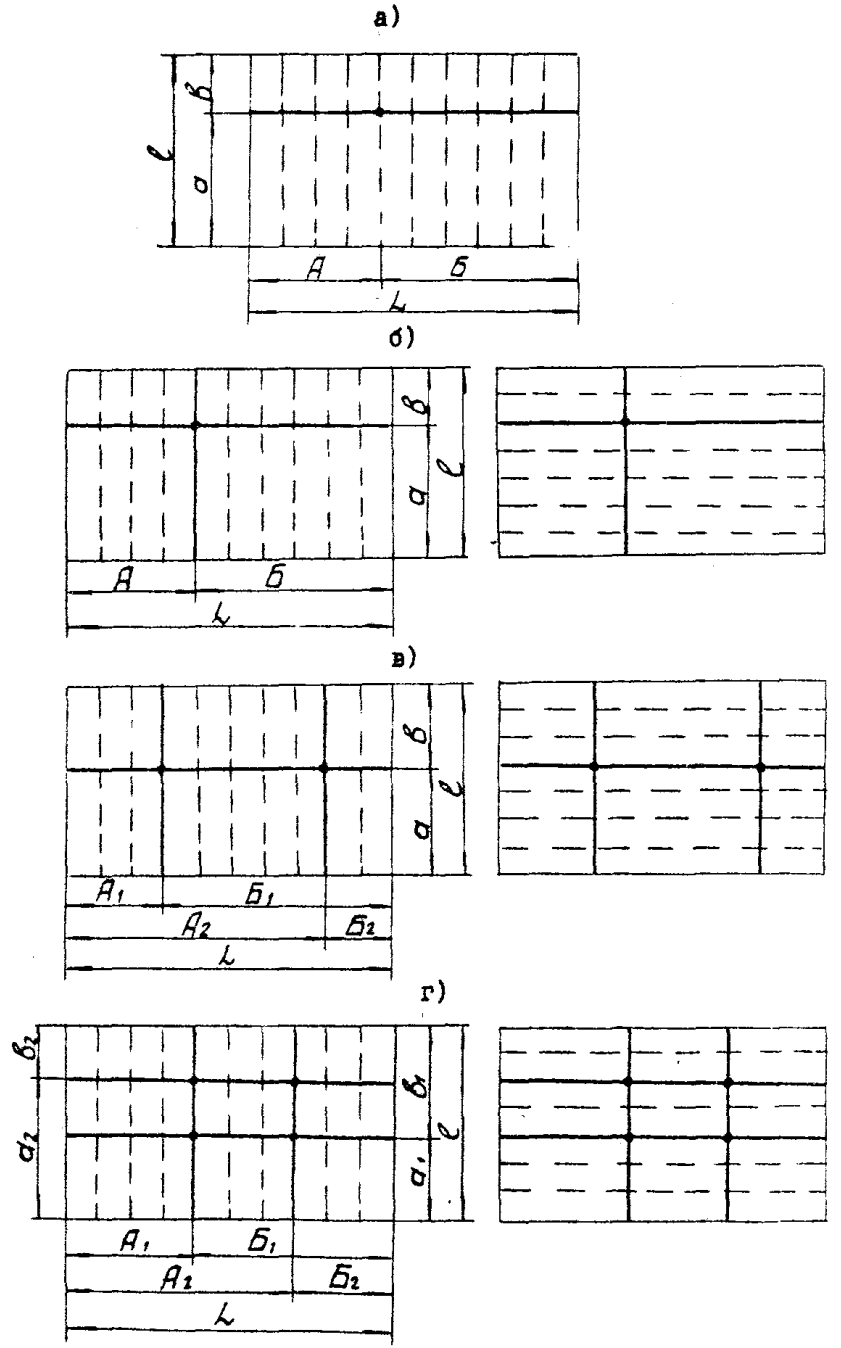


Рис. I4

$$P_1 = 2N^{РБ} + nR \qquad (II7)$$

$$P_2 = \frac{M^{РБ}\ell + M_1^{РБ}a + M_2^{РБ}b + \frac{2 \cdot n}{2}\frac{ab}{\ell}}{ab} \qquad (II8)$$

при одной силе

$$P_1 = \frac{2N^{РБ} + n \cdot R}{2} \qquad (II9)$$

$$P_2 = \frac{M^{РБ}\ell + M_1^{РБ}a_1 + M_2^{РБ}b_1 + \frac{R \cdot n}{2}\frac{a_1 b_1}{\ell}}{a_1(b_1 + b_2)} \qquad (I20)$$

$$P_3 = \frac{M^{РБ}\ell + M_1^{РБ}a_2 + M_2^{РБ}b_2 + \frac{R \cdot n}{2}\frac{a_2 b_2}{\ell}}{b_2(a_1 + a_2)} \qquad (I2I)$$

– при двух силах,

где R – реакция холостой балки в точках пересечения с рамными балками, кН [тс] ;

n – число холостых балок.

В качестве расчётного значения силы P принимается наименьшая.

Для балок длиной L , величины $\ell, a, b, a_1, b_1, a_2, b_2$ заменяются на величины $L, A, b, A_1, B_1, A_2, B_2$.

2.5.5. Реакция R (кН [тс]) определяется по формулам:

$$R_1 = \alpha_1 M, \qquad (I22)$$

$$R_2 = \alpha_2 N, \qquad (I23)$$

где α_1 , α_2 определяется для холостых балок для длины ℓ или L , по табл. 2I в зависимости от закрепления концов балок, по пункту I – при одной силе и по пункту 3 – при двух силах.

2.6. Проверка прочности обшивки корпуса при действии подъёмных стропов

2.6.I. При облегании корпуса судна стропов рекомендуется проверять прочность обшивки в скуловой части на давление стропа.

При применении двойного стропа (состоящего из двух канатов), рис. I5, нормальные напряжения, Н/мм^2, [кгс/см^2] , в обшивке скуловой части определяются по формулам.

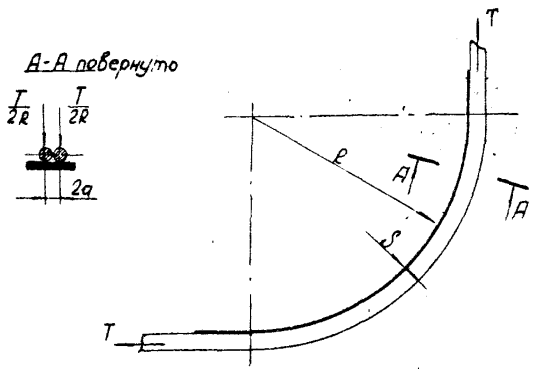
Если обшивка не подкреплена продольными ребрами (при поперечной системе набора)

$$\sigma = \frac{10\,T\alpha_0}{2S}\varphi \qquad (I24)$$

$$\left[\sigma = \frac{T\alpha_0}{2S}\varphi \cdot 10^3\right]$$

К расчету прочности обшивки на давление стропов

а) при поперечной системе набора



б) при продольной системе набора

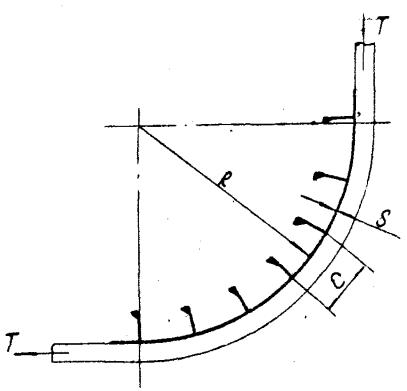


Рис.15

если обшивка подкреплена продольными ребрами жесткости (при продольной системе набора)

$$\sigma = \frac{10\,T\alpha_1}{2S}\,\varphi \qquad \left[\sigma = \frac{T\cdot\alpha_1}{2S}\,\varphi\,10^3\right] \tag{I25}$$

где T - усилие в стропе, кН [тс];

S - толщина обшивки, см;

$$\alpha_0 = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{R^2S^2}}, \quad \left(\frac{1}{см}\right) \tag{I26}$$

μ - коэффициент Пуассона. для стали при $\mu = 0{,}3$

$$\alpha_0 = \frac{1{,}28}{\sqrt{RS}}, \quad \left(\frac{1}{см}\right) \tag{I27}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt[4]{\frac{SC}{JR^2}}, \quad \left(\frac{1}{см}\right) \tag{I28}$$

R - радиус закругления скулы, см;

J - момент инерции ребра жесткости с учётом присоединенного пояска, $см^4$;

C - расстояние между ребрами жесткости, см;

φ - наибольшая из величин, определяемых при данных $\alpha_0 a$ или $\alpha_1 a$ по формулам:

$$\varphi = e^{-\alpha_i a}(\cos\alpha_i a + \sin\alpha_i a) \tag{I29}$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\left[1 + e^{-2\alpha_i a}(\cos 2\alpha_i a + \sin 2\alpha_i a)\right], \tag{I30}$$

где $2a$ - расстояние между центрами тросов двойного стропа, см;

$\alpha_i = \alpha_0$ - для обшивки, не подкрепленной продольными ребрами жесткости;

$\alpha_i = \alpha_1$ - для обшивки, подкрепленной ребрами жесткости.

Величина φ может быть также определена по рис. I6, где расчётными являются участки, обозначенные сплошной линией.

Прочность обшивки в скуловой части обеспечена, если в тех случаях, когда образование вмятин в обшивке под стропами недопустимо

$$\sigma \leqslant (0{,}8 \div 0{,}9)\,\sigma_н \tag{I31}$$

График зависимости φ от $\alpha_0 a$ или $\alpha_1 a$

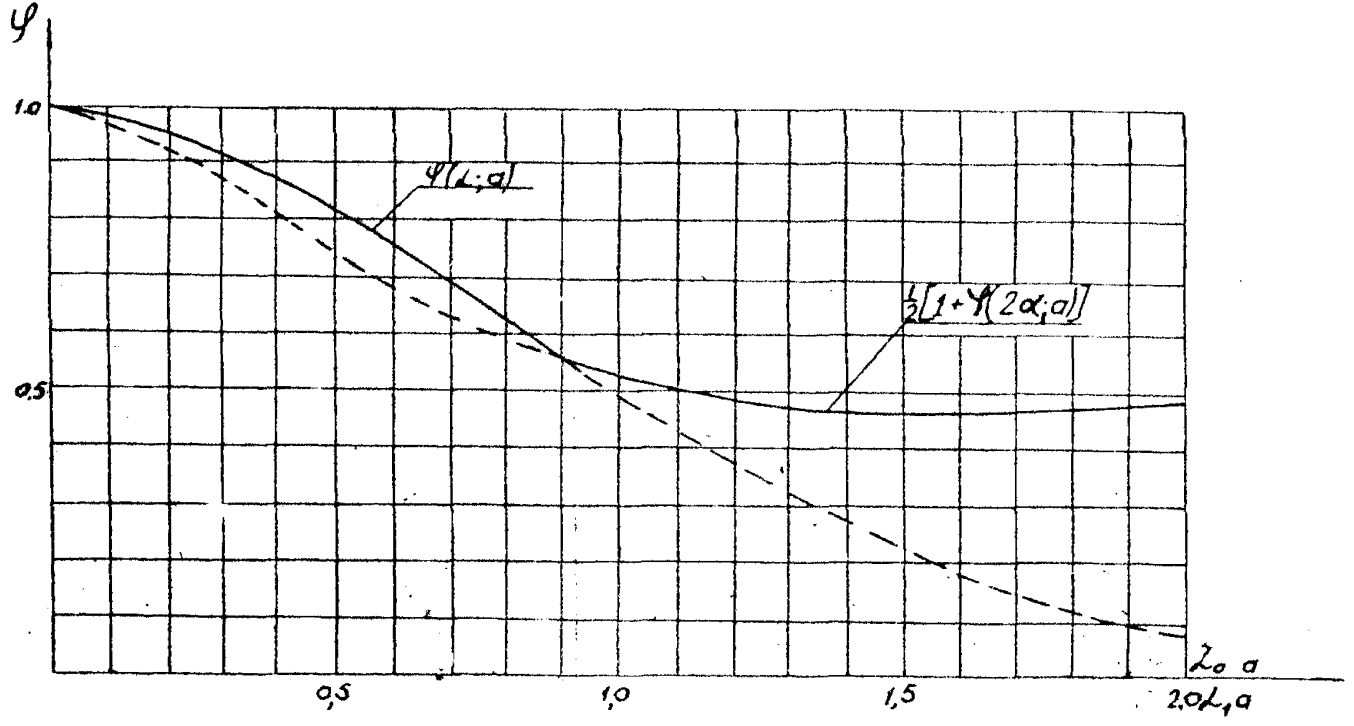


Рис. I6

а в случае допустимости вмятин

$$\sigma \leqslant (1{,}8 \div 2{,}0)\,\sigma_н \qquad (132)$$

При использовании одинарного стропа (состоящего из одного стропа), $a = 0$ $\varphi = 1$ и прочность скуловой обшивки проверяется по формулам:

если нет продольных ребер жесткости

$$\sigma = \frac{10\,T\alpha_0}{S}, \quad \left[\sigma = \frac{T\alpha_0}{S}\cdot 10^3\right], \qquad (133)$$

если обшивка подкреплена продольными ребрами жесткости

$$\sigma = \frac{10\,T\alpha_1}{S}, \qquad \left[\sigma = \frac{T\cdot\alpha_1}{S}\cdot 10^3\right] \qquad (134)$$

2.6.2. Если на основании расчёта прочность наружной обшивки при прилегании к ней стропа окажется недостаточной, то под строп следует установить полотенце - подкладку, рис. 17, и произвести совместный расчёт прочности наружной обшивки и прокладки.

Размеры полотенца-подкладки устанавливаются на основании опыта. При отсутствии продольных ребер жесткости сжимающие напряжения определяются по формулам:

в наружной обшивке

$$\sigma_1' = \frac{10\,\alpha_2\,T}{S + S_n}\,X_0 \qquad (135)$$

$$\left[\sigma_1' = \frac{\alpha_2\,T}{S + S_n}\,X_1\cdot 10^3\right]$$

в прокладке

$$\sigma_2 = \frac{10\cdot\alpha_2\cdot T}{S + S_n}\,X_1$$

$$\left[\sigma = \frac{\alpha_2\,T}{S + S_n}\,X_1\cdot 10^3\right] \qquad (136)$$

где $\alpha_2 = \dfrac{\alpha_0}{\sqrt[4]{1+\left(\frac{S_n}{S}\right)^3}} = \dfrac{1{,}28}{\sqrt{RS}}\cdot\dfrac{1}{\sqrt[4]{1+\left(\frac{S_n}{S}\right)^3}}$, 1/см (137)

$$X_0 = \frac{V_1[\alpha_2(b-a)]\,V_3(\alpha_2 b) - V_0[\alpha_2(b-a)]\,V_0(\alpha_2 b)}{\sqrt{2}\,[V_0(\alpha_2 b)\cdot V_1(\alpha_2 b) - V_2(\alpha_2 b)\cdot V_3(\alpha_2 b)} \qquad (138)$$

$$X_1 = \frac{\{V_1[\alpha_2(b-a)]V_1(\alpha_2 b) - V_0[\alpha_2(b-a)]V_2(\alpha_2 b)\}V_2(\alpha_2 a) - X_0 V_0(\alpha_2 a)}{\sqrt{2}\,[V_0(\alpha_2 b)\,V_1(\alpha_2 b) - V_2(\alpha_2 b)\cdot V_3(\alpha_2 b)} \qquad (139)$$

V_1 - функции Пузыревского Н.П., приведены в табл.23;

$2b$ - ширина полотенца-подкладки, см;

S_n - толщина полотенца-подкладки, см.

Схема установки полотенца-подкладки

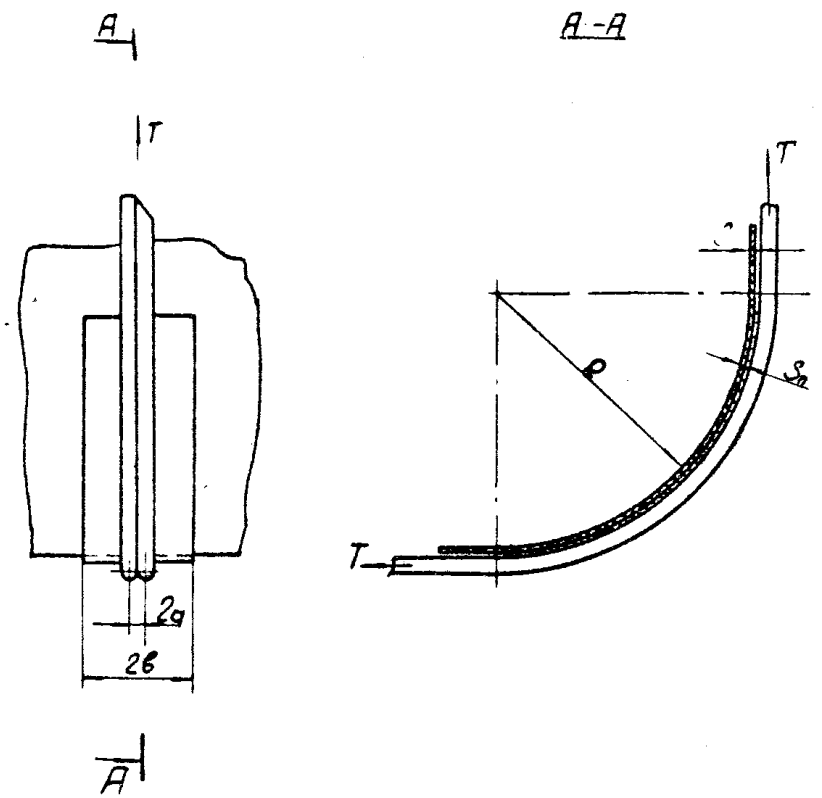


Рис. 17

Таблица 23

Функции Пузыревского

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
00	I	0	0	0	0,2I	0,9997	0,4200	0,044I	0,0062
0,0I	I,0000	0,0200	0,000I	0,0000	0,22	0,9996	0,4400	0,0484	0,007I
0,02	I,0000	0,0400	0,0004	0,0000	0,23	0,9995	0,4600	0,0529	0,008I
0,03	I,0000	0,0600	0,0009	0,0000	0,24	0,9995	0,4800	0,0576	0,0092
0,04	I,0000	0,0800	0,00I6	0,0000	0,25	0,9993	0,5000	0,0625	0,0I04
0,05	I,0000	0,I000	0,0025	0,000I	0,26	0,9992	0,5I99	0,0676	0,0II7
0,06	I,0000	0,I200	0,0036	0,0002	0,27	0,999I	0,5399	0,0729	0,0I3I
0,07	I,0000	0,I400	0,0049	0,0003	0,28	0,9990	0,5599	0,0784	0,0I47
0,08	I,0000	0,I600	0,0064	0,0004	0,29	0,9988	0,5799	0,084I	0,0I63
0,09	I,0000	0,I800	0,008I	0,0005	0,30	0,9987	0,5998	0,0900	0,0I80
0,I0	I,0000	0,2000	0,0I00	0,0006	0,3I	0,9985	0,6I98	0,096I	0,0I98
0,II	I,0000	0,2200	0,0I2I	0,0008	0,32	0,9983	0,6398	0,I024	0,02I8
0,I2	I,0000	0,2400	0,0I44	0,00I2	0,33	0,9980	0,6597	0,I089	0,0239
0,I3	0,9999	0,2600	0,0I69	0,00I4	0,34	0,9978	0,6797	0,II56	0,0263
0,I4	0,9999	0,2800	0,0I96	0,00I8	0,35	0,9975	0,6996	0,I225	0,0286
0,I5	0,9999	0,3000	0,0225	0,0022	0,36	0,9972	0,7I96	0,I296	0,03I0
0,I6	0,9999	0,3200	0,0256	0,0028	0,37	0,9969	0,7396	0,I369	0,0338
0,I7	0,9999	0,3400	0,0289	0,0032	0,38	0,9965	0,7594	0,I444	0,0366
0,I8	0,9998	0,3600	0,0289	0,0039	0,39	0,996I	0,7794	0,I52I	0,0396
0,I9	0,9998	0,3800	0,036I	0,0046	0,40	0,9957	0,7993	0,I600	0,0427
0,20	0,9997	0,4000	0,0400	0,0054	0,4I	0,9953	0,8I92	0,I680	0,0460

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
0,42	0,9948	0,8392	0,I763	0,0494	0,63	0,9738	I,2534	0,3962	0,I666
0,43	0,9943	0,8590	0,I848	0,0530	0,64	0,972I	I,2728	0,40[illegible]3	0,I746
0,44	0,9938	0,8789	0,I935	0,0567	0,65	0,9703	I,2923	0,42I7	0,I829
0,45	0,9932	0,8988	0,2024	0,0608	0,66	0,9684	I,3II7	0,4347	0,I9I5
0,46	0,9925	0,9I87	0,2II5	0,0649	0,67	0,9664	I,33I0	0,4479	0,2004
0,47	0,99I9	0,9384	0,2208	0,0692	0,68	0,9644	I,3503	0,46I3	0,2095
0,48	0,99II	0,9582	0,2303	0,0736	0,69	0,9623	I,3696	0,4749	0,2I88
0,49	0,9904	0,978I	0,2399	0,0785	0,70	0,9600	I,3888	0,4887	0,2284
0,50	0,9895	0,9979	0,2498	0,0833	0,7I	0,9577	I,4079	0,5027	0,2383
0,5I	0,9887	I,0I77	0,2599	0,0885	0,72	0,9552	I,427I	0,5I68	0,2485
0,52	0,9878	I,0375	0,2702	0,0937	0,73	0,9526	I,4462	0,53I2	0,2590
0,53	0,9869	I,0572	0,2807	0,0992	0,74	0,950I	I,4652	0,5458	0,2698
0,54	0,9858	I,0769	0,29I3	0,I049	0,75	0,9473	I,4842	0,5605	0,2808
0,55	0,9847	I,0967	0,3022	0,II09	0,76	0,9444	I,503I	0,5755	0,292I
0,56	0,9836	I,II64	0,3I33	0,II70	0,77	0,94I5	I,5220	0,5906	0,3038
0,57	0,9824	I,I360	0,3245	0,I234	0,78	0,9384	I,5408	0,6059	0,3I58
0,58	0,98II	I,I556	0,3360	0,I300	0,79	0,935I	I,5595	0,62I4	0,328I
0,59	0,9798	I,I752	0,3476	0,I368	0,80	0,93I8	I,5782	0,637I	0,3406
0,60	0,9784	I,I949	0,3595	0,I439	0,8I	0,9283	I,5968	0,6530	0,3536
0,6I	0,9769	I,2I44	0,37I5	0,I5I2	0,82	0,9247	I,6I54	0,6690	0,3668
0,62	0,9754	I,2339	0,3838	0,I587	0,83	0,92I0	I,6337	0,6853	0,3803

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
0,84	0,9I7I	I,6522	0,70I7	0,3942	I,05	0,7980	2,0I5I	I,0876	0,7673
0,85	0,9I3I	I,6704	0,7I83	0,4084	I,06	0,7902	2,0309	I,I079	0,7893
0,86	0,9090	I,6887	0,735I	0,4229	I,07	0,7822	2,0466	I,I282	0,8II6
0,87	0,9047	I,7068	0,722I	0,4378	I,08	0,7740	2,0622	I,I488	0,8344
0,88	0,9002	I,7248	0,7692	0,4530	I,09	0,7655	2,0776	I,I695	0,8576
0,89	0,8956	I,7428	0,7866	0,4686	I,I0	0,7568	2,0929	I,I903	0,88II
0,90	0,893I	I,7607	0,804I	0,4845	I,II	0,7479	2,I079	I,2II3	0,905I
0,9I	0,8859	I,7785	0,82I8	0,5007	I,I2	0,7387	2,I226	I,2325	0,9294
0,92	0,8808	I,796I	0,8397	0,5I73	I,I3	0,7293	2,I374	I,2588	0,9544
0,93	0,8753	I,8I37	0,8577	0,5843	I,I4	0,7I96	2,I5I9	I,2752	0,9797
0,94	0,870I	I,83II	0,8759	0,55I7	I,I5	0,7097	2,I662	I,2968	I,0054
0,95	0,8645	I,8484	0,8943	0,5694	I,I6	0,6995	2,I803	I,3I86	I,03I7
0,96	0,8587	I,8657	0,9I29	0,5875	I,I7	0,689I	2,I942	I,3404	I,0582
0,97	0,8528	I,8829	0,93I7	0,6059	I,I8	0,6784	2,2079	I,3625	I,0853
0,98	0,8466	I,8998	0,9697	0,6343	I,I9	0,6674	2,22I3	I,3846	I,II27
0,99	0,8389	I,907I	0,9697	0,6343	I,20	0,656I	2,2346	I,4069	I,I406
I,00	0,8337	I,9335	0,9889	0,6635	I,2I	0,6446	2,2476	I,4293	I,I690
I,0I	0,8270	I,9500	I,0083	0,6834	I,22	0,6330	2,26I2	I,45I8	I,I986
I,02	0,820I	I,9665	I,0279	0,7039	I,23	0,6206	2,2729	I,4745	I,227I
I,03	0,8I29	I,9828	I,0476	0,7246	I,24	0,6082	2,2852	I,4973	I,2568
I,04	0,8056	I,9990	I,0675	0,7458	I,25	0,5955	2,297I	I,5202	I,2870

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
I,26	0,5824	2,3090	I,5432	I,3I76	I,49	0,I882	2,4935	2,0990	2,I536
I,27	0,569I	2,3204	I,5664	I,3488	I,50	0,I664	2,497I	2,I239	2,I959
I,28	0,5555	2,33I8	I,5896	I,3802	I,5I	0,I442	2,5002	2,I489	2,2386
I,29	0,54I5	2,3427	I,6I30	I,4I23	I,52	0,I2I6	2,5029	2,I740	2,28I9
I,30	0,5272	2,3534	I,6365	I,4448	I,53	0,0986	2,5052	2,I990	2,3256
I,3I	0,5I26	2,3638	I,660I	I,4778	I,54	0,0746	2,5068	2,224I	2,3698
I,32	0,4977	2,3740	I,6838	I,5II2	I,55	0,05I2	2,508I	2,249I	2,4I45
I,33	0,4824	2,3837	I,7076	I,545I	I,56	0,0268	2,5059	2,2742	2,4597
I,34	0,4668	2,3932	I,73I4	I,5794	I,57	0,0020	2,5092	2,2943	2,5056
I,35	0,4508	2,4024	I,7554	I,6I44	I,58	-0,0233	2,5090	2,3244	2,55I8
I,36	0,4345	2,4II3	I,7795	I,6494	I,59	-0,0490	2,5083	2,3495	2,5985
I,37	0,4I78	2,4I97	I,8036	I,6855	I,60	-0,0753	2,5070	2,3745	2,6458
I,38	0,4008	2,4279	I,8279	I,72I9	I,6I	-0,I0I9	2,5052	2,3996	2,6934
I,39	0,3833	2,4358	I,8522	I,7586	I,62	-0,I29I	2,5029	2,4247	2,74I7
I,40	0,3656	2,4433	I,8766	I,7959	I,63	-0,I568	2,500I	2,4497	2,7905
I,4I	0,3474	2,4504	I,90II	I,8338	I,64	-0,I849	2,4967	2,4747	2,8397
I,42	0,3289	2,4572	I,9256	I,8720	I,65	-0,2I36	2,4927	2,4996	2,8895
I,43	0,3I00	2,4635	I,9502	I,9I07	I,66	-0,2427	2,488I	2,5245	2,9397
I,44	0,2907	2,4667	I,9529	I,9529	I,67	-0,2724	2,4830	2,5491	2,9904
I,45	0,27I0	2,475I	I,9996	I,9897	I,68	-0,3026	2,4772	2,5742	3,04I6
I,46	0,2509	2,4804	2,0244	2,0300	I,69	-0,3332	2,4708	2,5989	3,0934
I,47	0,2304	2,4852	2,0402	2,0706	I,70	-0,3644	2,4643	2,6236	3,I45I
I,48	0,2095	2,4896	2,074I	2,II20	I,7I	-0,396I	2,4563	2,6482	3,I983

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
I,72	-0,4284	2,4480	2,6727	3,25I6	I,94	-I,28I5	2,0822	3,I779	4,54I6
I,73	-0,46I2	2,439I	2,697I	3,3053	I,95	-I,3273	2,0562	3,I986	4,6054
I,74	-0,4945	2,4296	2,72I5	3,3594	I,96	-I,3736	2,029I	3,2I90	4,6695
I,75	-0,5284	2,4I93	2,7457	3,4I4I	I,97	-I,4207	2,00I3	3,2392	4,734I
I,76	-0,5628	2,4084	2,7699	3,4692	I,98	-I,4683	I,9723	3,259I	4,799I
I,77	-0,5977	2,3968	2,7939	3,5248	I,99	-I,5I66	I,9425	3,2786	4,8645
I,78	-0,6333	2,3846	2,8I78	3,58I0	2,00	-I,5656	I,9II5	3,2979	4,930I
I,79	-0,6694	2,37I4	2,84I6	3,6376	2,0I	-I,6I53	I,8798	3,3I68	4,9964
I,80	-0,7060	2,3577	2,8652	3,6947	2,02	-I,6656	I,8470	3,3355	5,0630
I,8I	-0,7433	2,3432	2,8887	3,7522	2,03	-I,7I65	I,8I32	3,3538	5,I298
I,82	-0,78II	2,3280	2,9I2I	3,8I02	2,04	-I,7682	I,7783	3,37I8	5,I97I
I,83	-0,8I95	2,3I20	2,9353	3,8686	2,05	-I,8205	I,7425	3,3893	5,2647
I,84	-0,8584	2,2952	2,9583	3,9276	2,06	-I,8734	I,7056	3,4066	5,3326
I,85	-0,8980	2,2777	2,98I2	3,987I	2,07	-I,927I	I,6675	3,4234	5,4009
I,86	-0,9382	2,2593	3,0039	4,0469	2,08	-I,98I5	I,6284	3,4399	5,4696
I,87	-0,9790	2,240I	3,0264	4,I07I	2,09	-2,0365	I,5878	3,4560	5,5380
I,88	-I,0203	2,220I	3,0487	4,I679	2,I0	-2,0923	I,5470	3,47I7	5,6078
I,89	-I,0623	2,I993	3,0708	4,229I	2,II	-2,I487	I,5046	3,4870	5,6774
I,90	-I,I049	2,I776	3,0927	4,2908	2,I2	-2,2058	I,46II	3,50I8	5,7473
I,9I	-I,I48I	2,I55I	3,II43	4,3529	2,I3	-2,2636	I,4I63	3,5I62	5,8I75
I,92	-I,I920	2,I3I7	3,I358	4,4I53	2,I4	-2,322I	I,3705	3,530I	5,8879
I,93	-I,2364	2,I075	3,I570	4,4783	2,I5	-2,38I4	I,3235	3,5436	5,9587

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
2,I6	-2,44I3	I,2752	3,5566	6,0296	2,39	-4,0202	-0,I96I	3,6946	7,7I03
2,I7	-2,5020	I,2258	3,569I	6,I0I0	2,40	-4,0976	-0,2772	3,6922	7,7842
2,I8	-2,5633	I,I752	3,58II	6,I724	2,4I	-4,I759	-0,3599	3,689I	7,858I
2,I9	-2,6254	I,I232	3,5926	6,2442	2,42	-4,2548	-0,4442	3,6850	7,93I8
2,20	-2,6882	I,0702	3,6036	6,3I62	2,43	-4,3345	-0,5302	3,6802	8,0054
2,2I	-2,75I8	I,0I57	3,6I40	6,3883	2,44	-4,4I50	-0,6I77	3,6745	8,079I
2,22	-2,8I60	I,960I	3,6239	6,4607	2,45	-4,496I	-0,7068	3,6678	8,I524
2,23	-2,88I0	0,903I	3,6332	6,5333	2,46	-4,5780	-0,7975	3,6603	8,2257
2,24	-2,9466	0,8448	3,64I9	6,6060	2,47	-4,6606	-0,8899	3,65I8	8,2989
2,25	-3,0I3I	0,7852	3,650I	6,6790	2,48	-4,7439	-0,9840	3,6425	8,37I8
2,26	-3,0802	0,7242	3,6576	6,7520	2,49	-4,8280	-I,0797	3,632I	8,4445
2,27	-3,I48I	0,6620	3,6645	6,8252	2,50	-4,9I28	-I,I770	3,6209	8,5I70
2,28	-3,2I67	0,5984	3,6709	6,8986	2,5I	-4,9984	-I,2762	3,6086	8,5894
2,29	-3,286I	0,5333	3,6765	6,872I	2,52	-5,0846	-I,3770	3,5953	8,66I4
2,30	-3,3562	0,4669	3,68I5	7,0457	2,53	-5,I7I6	-I,4796	3,58II	8,7332
2,3I	-3,4270	0,399I	3,6859	7,II97	2,54	-5,2593	-I,5839	3,5658	8,8047
2,32	-3,4986	0,3297	3,6895	7,I93I	2,55	-5,3477	-I,6900	3,5494	8,8758
2,33	-3,5708	0,259I	3,6924	7,2669	2,56	-5,4368	-I,7978	3,5320	8,9466
2,34	-3,6439	0,I870	3,6946	7,3408	2,57	-5,5266	-I,9075	3,5I34	9,0I7I
2,35	-3,7I77	0,II34	3,6962	7,4I46	2,58	-5,6I72	-2,0I89	3,4938	9,087I
2,36	-3,7922	0,0382	3,6969	7,4886	2,59	-5,7084	-2,I322	3,4730	9,I568
2,37	-3,8675	-0,0383	3,6970	7,5625	2,60	-5,8003	-2,2472	3,45II	9,2260
2,38	-3,9435	-0,II65	3,696I	7,6365	2,6I	-5 8929	-2,364I	3,428I	9,2949

Продолжение табл. 23

u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$	u	$V_0(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_1(u)$	$V_2(u)$	$\sqrt{2}\cdot V_3(u)$
2,62	-5,9862	-2,4330	3,4038	9,3632	2,85	-8,3076	-5,7580	2,4766	I0,745
2,63	-6,0802	-2,6036	3,3784	9,43I0	2,86	-8,4I44	-5,9253	2,4I82	I0,793
2,64	-6,I748	-2,726I	3,35I8	9,4983	2,87	-8,5225	-6,0946	2,358I	I0,84I
2,65	-6,270I	-2,8506	3,3239	9,5650	2,88	-8,63I2	-6,2662	2,2963	I0,888
2,66	-6,366I	-2,9769	3,2947	9,63II	2,89	-8,7404	-6,4399	2,2328	I0,933
2,67	-6,4628	-3,I053	3,2644	9,6969	2,90	-8,847I	-6,6I58	2,I675	I0,977
2,68	-6,5600	-3,2354	3,2326	9,76I8	2,9I	-8,9598	-6,7938	2,I005	II,020
2,69	-6,6580	-3,3678	3,2654	9,8262	2,92	-9,0703	-6,9743	2,03I6	II,06I
2,70	-6,7565	-3,50I8	3,I653	9,8898	2,93	-9,I8II	-7,I567	I,9609	II,I0I
2,7I	-6,8558	-3,6379	3,I296	9,9527	2,94	-9,2923	-7,34I4	I,8885	II,I40
2,72	-6,9556	-3,776I	3,0925	I0,0I5	2,95	-9,4039	-7,5234	I,884I	II,I77
2,73	-7,0560	-3,9I6I	3,054I	I0,076	2,96	-9,5I58	-7,7I76	I,7379	II,2I2
2,74	-7,I57I	-4,0583	3,0I42	I0,I37	2,97	-9,628I	-7,9090	I,6597	II,246
2,75	-7,2588	-4,2024	2,9729	I0,I97	2,98	-9,7407	-8,I027	I,5797	II,279
2,76	-7,36II	-4,3486	2,930I	I0,256	2,99	-9,8536	-8,2986	I,4977	II,309
2,77	-7,4639	-4,4968	2,8859	I0,3I4	3,00	-9,9669	-8,4969	I,4I37	II,338
2,78	-7,5673	-4,6472	2,8402	I0,37I					
2,79	-7,57I4	-4,7996	2,7929	I0,428					
2,80	-7,7759	-4,9540	2,7442	I0,483					
2,8I	-7,88I0	-5,II06	2,6939	I0,538					
2,82	-7,9866	-5,2693	2,6420	I0,59I					
2,83	-8,0929	-5,430I	2,5885	I0,643					
2,84	-8,I995	-5,5930	2,5334	I0,694					

2.7. Проверка прочности бортового набора на давление судоподъёмных понтонов

2.7.1. Судоподъёмные понтоны, остропленные в обхват корпуса судна, при продувке кроме подъёмной силы создают и значительное давление на борта поднимаемого или аварийного судна. Величина этого давления зависит от величины подъёмной силы и крена и дифферента судна и понтонов. В процессе всплытия крен и дифферент судна и понтонов и степень продувки понтонов могут произвольно изменяться, что приводит к значительному изменению создаваемых понтонами усилий. Это необходимо учитывать при определении возможного фактического давления понтона на борт.

2.7.2. При проверке прочности борта давление цилиндрического понтона принимается распределенным по линии касания понтона с обшивкой борта в направлении от продольной оси понтона.

Величину давления понтона на борт при заданных подъёмной силе, крене и дифференте судна и понтона рекомендуется определять графически по правилу параллелограмма сил, рис. I8.

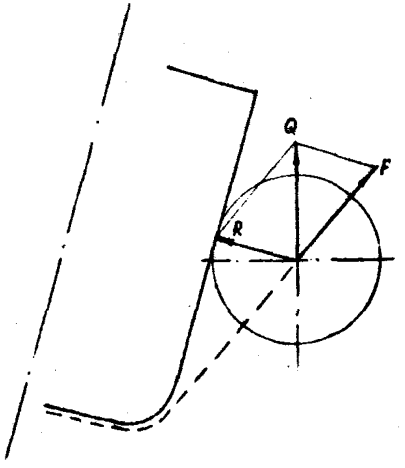


Рис. I8

2.7.3. Если понтон располагается между поперечными переборками и палубами, то давление понтона R , кН [тс] воспринимается шангоутами в виде сосредоточенных сил

$$P = \frac{R}{n} , \qquad (140)$$

где n – число шангоутов, воспринимающих давление понтона.

2.7.4. Проверку прочности борта, рассматривая его как перекрытие рекомендуется производить по методу предельных нагрузок в соответствии с указаниями раздела 2.4.

2.8. Проверка прочности корпуса судна в районе прилегания подстропных подушек

2.8.I. Наиболее характерным случаем является установка подстропной подушки на угол, образуемый палубой и бортом, например: при выкренивании судна. Взаимодействие корпуса судна с подстропной подушкой в этом случае сводится к двум реакциям R_n и R_δ , см. рис. I9а, распределенным вдоль кромок палубы и борта. Как правило, обе эти реакции вызывают сжатие палубы и борта, поэтому проверка прочности обеих конструкций выполняется аналогично.

2.8.2. Проверка прочности ширстрека. Максимальные сжимающие напряжения σ_{max} Н/мм^2 [кгс/см^2] , в месте ширстрека, расположенном непосредственно под подушкой, определяются зависимостью

$$\sigma_{max} = \frac{P(x)_{max}}{10\, S'_\delta} \qquad (141)$$

$$\left[\sigma_{max} = \frac{10 \cdot P(x)_{max}}{S'_\delta}\right]$$

где $P(x)_{max}$ – максимальная интенсивность давления подушки на борт, кН/м [тс/м]

$$P(x)_{max} = R_\delta \frac{\pi}{2} \frac{10^2}{\ell} \qquad (142)$$

для одинарной подушки (с одним стропом), рис. I9б

$$P(x)_{max} = R_\delta \frac{10^2}{\ell_1 + \frac{4}{\pi} \cdot \ell_2} \qquad (143)$$

для двойной подушки (с двумя стропами), рис. I9в

S'_δ – приведенная толщина борта, см;

$$S'_\delta = S_\delta + \frac{n \cdot f_{wn}}{\ell} \qquad (144)$$

К расчету подстропных подушек
и местной прочности

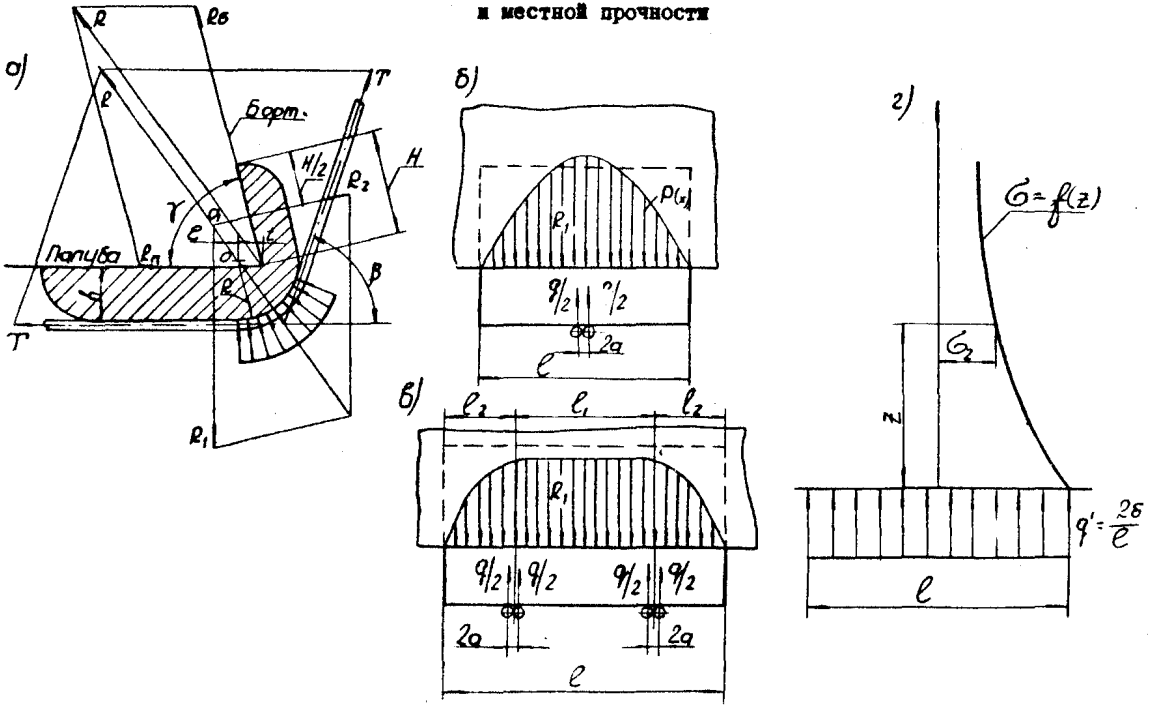


Рис. 19

S_δ - толщина ширстрека, см;

$f_{шп}$ - площадь сечения шпангоута;

n - число шпангоутов на длине подушки;

ℓ - длина подушки, см.

Вследствие взаимодействия нагруженных шпаций с соседними ненагруженными сжимающие напряжения в наружной обшивке убывают с удалением от верхней палубы. Если принять реакцию R_δ равномерно распределенной по длине подушки ℓ, см. рис.I9г, то затухание сжимающих напряжений

(I45)

$$\sigma_z = \frac{20 R_\delta}{\pi S_\delta' \ell} \operatorname{arc\,tg} \frac{\ell}{2z}$$

$$\left[\sigma_z = \frac{2 \cdot 10^3 R_\delta}{\pi S_\delta' \cdot \ell} \operatorname{arc\,tg} \frac{\ell}{2z}\right]$$

где z - отстояние расчётного сечения от палубы, см. рис. I9г.

Критические напряжения листов определяются по формулам:

при поперечной системе набора, когда имеются только шпангоуты:

$$\sigma_{кр} = 80\left(\frac{100 S_\delta'}{c}\right)^2 \qquad (I46)$$

$$\left[\sigma_{кр} = 800\left(\frac{100 S_\delta'}{c}\right)^2\right]$$

при продольной системе набора при наличии продольных ребер жесткости

$$\sigma_{кр} = 20\left(\frac{100 \cdot S_\delta'}{c_1}\right)^2 \qquad (I47)$$

$$\left[\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100 \cdot S_\delta'}{c_1}\right)^2\right]$$

где c и c_1 - расстояние между шпангоутами или продольными ребрами жесткости, см.

Условия прочности ширстрека

$$\sigma_{max} < \sigma_H$$
$$\sigma_{кр} > \sigma_{max} \qquad (I48)$$

Если условия (I47) не соблюдаются, необходимо выполнить редуцирование, определяя S_δ' по формулам

при поперечной системе набора

$$S_\delta' = \frac{S_\delta}{2}\left(1 + \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{max}}\right) + \frac{n \cdot f_{шп}}{\ell} \qquad (I49)$$

при продольной системе набора

$$S_\delta' = S_\delta \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{max}} + \frac{n}{\ell}\left[\frac{c_1 S_\delta}{2}\left(1 - \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{max}}\right) + f_{шп}\right] \qquad (I50)$$

После чего вновь определить σ_{max} и проверить условия прочности (148) .

2.8.3. Если прочность ширстрека достаточна, следует проверить устойчивость шпангоута. Независимо от конструкции закрепления концов шпангоута критическая нагрузка кН [тс] для него с ошибкой в безопасную сторону определяется по формуле

$$p_{кр} = \frac{\pi^2 E \, J_{шп}}{\ell^2} \cdot 10^2 \quad \left[p_{кр} = \frac{\pi^2 E \cdot J_{шп}}{\ell} \right], \qquad (151)$$

где $J_{шп}$ – момент инерции профиля шпангоута с учётом присоединенного пояска обшивки, $см^4$;

E – модуль Юнга, $Н/мм^2$ [$кгс/см^2$] ;

$\ell_{шп}$ – длина пролета шпангоута между палубами, см.

Устойчивость шпангоута будет обеспечена при условии

$$p_{кр} > R_б$$

При наличии у шпангоута начальной погиби, рис. 20, необходимо дополнительно проверить его прочность от сжимающей нагрузки.

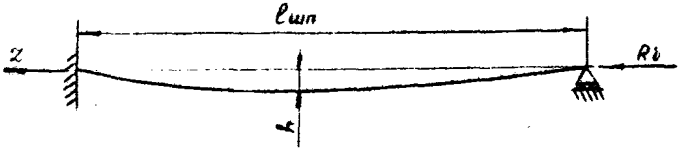


Рис. 20

Изгибающий момент, кН·м [тс·м] , для наиболее характерного случая закрепления концов шпангоута (свободная опора при $z = 0$ и жесткая заделка при $z = \ell_{шп}$) приближенно определяется по формуле

$$M = R_б \cdot h \, (4\alpha_б^2 - 3\alpha_б), \qquad (152)$$

где $\alpha_б = \frac{z}{\ell}$

h – стрелка начальной погиби шпангоута, м;

ℓ – длина подстропной подушки, см.

С учётом затухания сжимающих усилий с ростом z формула 152 принимает вид

$$M = \frac{R_б}{\ell} \cdot c \cdot h \cdot \varphi(\alpha_б, \beta_б), \qquad (153)$$

где $\beta_б = \frac{\ell}{2\ell_{шп}}$

$$\varphi(\alpha_\delta, \beta_\delta) = \frac{2}{\pi}\left(4\alpha_\delta^2 - 3\alpha_\delta\right) \cdot arc\,tg\,\frac{\beta_\delta}{\alpha_\delta} \qquad (154)$$

Значения $\varphi\ (\alpha_\delta, \beta_\delta)$ представлены на рис. 21.

Суммарные напряжения Н/мм^2 [кгс/см^2] от изгиба и сжатия шангоута определяются по формулам

$$\sigma_{сум} = \sigma_{изг} + \sigma_г \qquad (155)$$

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W_{шп}} \cdot 10^3 \qquad (156)$$

$$\left[\sigma_{изг} = \frac{M}{W_{шп}} \cdot 10^5\right]$$

$$\sigma_г = \frac{20\,R_\delta}{n \cdot S'_\delta \cdot \ell}\, arc\,tg\ \frac{\beta_\delta}{\alpha_\delta} \qquad (157)$$

$$\left[\sigma_г = \frac{20 \cdot 10^3 R_\delta}{n \cdot S'_\delta \cdot \ell}\, arc\,tg\ \frac{\beta_\delta}{\alpha_\delta}\right],$$

где $W_{шп}$ – момент сопротивления профиля шангоута с учётом площади присоединенного пояска, см^3;

Прочность шангоута обеспечена, если

$$\sigma_{сум} \leq 0{,}9\,\sigma_н$$

В качестве расчётного сечения следует выбирать сечение, отвечающее максимуму $\varphi\ (\alpha_\delta, \beta_\delta)$ или несколько ближе к верхней палубе.

2.9. Расчёт судоподъёмных проушин и обухов

2.9.1. Расчёт прочности судоподъёмных проушин, рис. 22, включает проверку штыря, щек, накладного листа, сварных, болтовых или заклепочных соединений и местной прочности судовых конструкций, на которых проушины установлены.

2.9.2. Диаметр штыря проушины в миллиметрах определяется из условия прочности на изгиб и срез по формулам:

$$d = 10\sqrt[3]{\frac{T\ell}{0{,}4[\sigma]}} \qquad (158)$$

$$\left[d = 10^2\sqrt{\frac{T\ell}{4[\sigma]}}\right]$$

$$d = 10^2\sqrt{\frac{1{,}6\,T}{3\pi[\tau]}} \qquad (159)$$

$$\left[d = 10^3\sqrt{\frac{1{,}6\,T}{3\pi[\tau]}}\right]$$

Графики для определения изгибающих моментов в шпангоутах

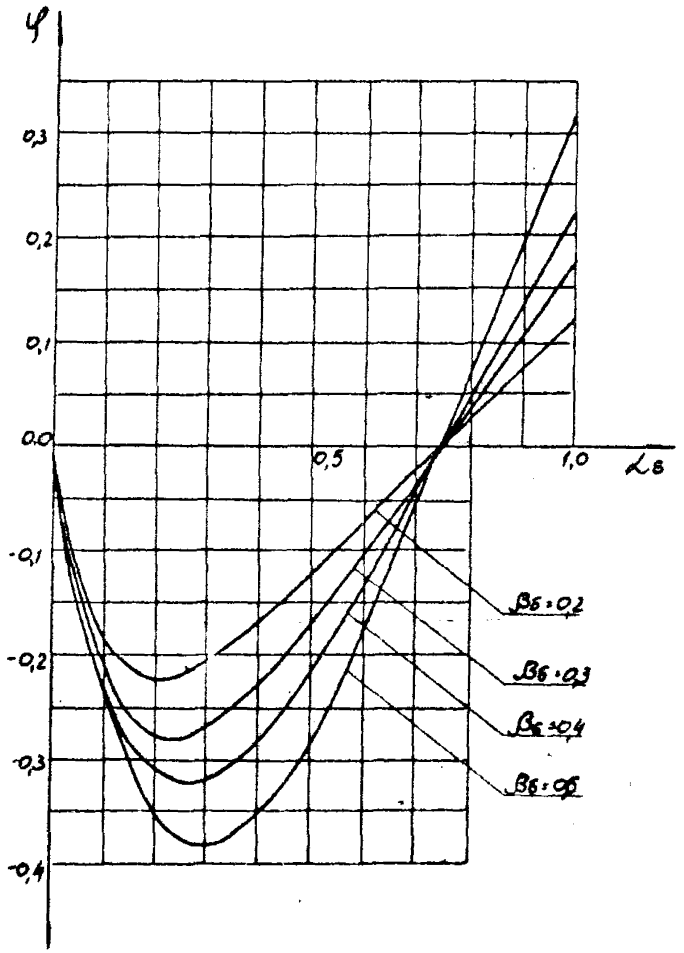


Рис. 21

К расчету прочности судоподъемной проушины

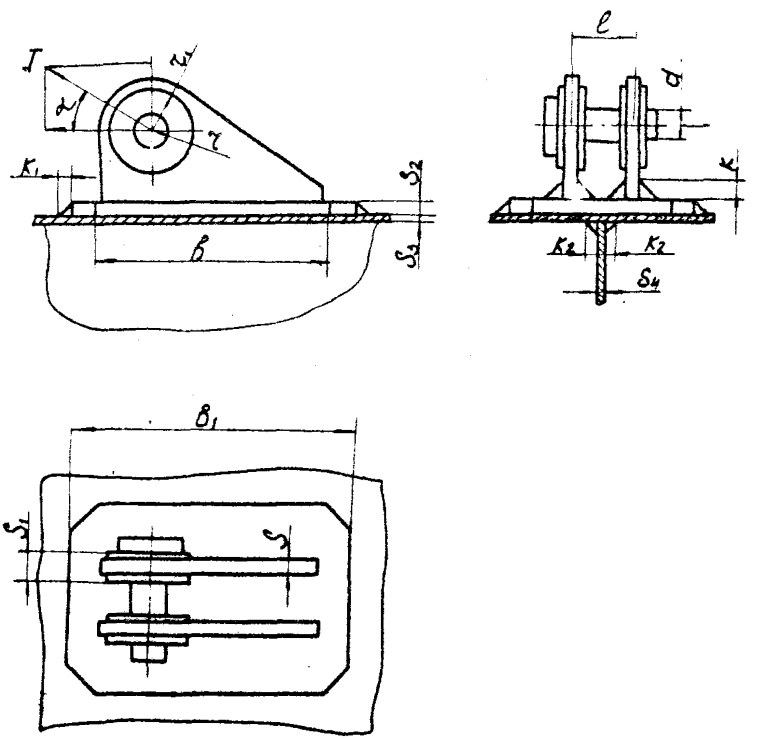


Рис. 22

где $[\sigma] = 0{,}6\,\sigma_н$ и $[\tau] = 0{,}35\,\sigma_н$ – соответственно допускаемые нормальные касательные напряжения, Н/мм^2 [кгс/см^2]

ℓ – расчётная длина штыря, мм;

T – сосредоточенная нагрузка на штырь, равная усилию в стропе, кН [тс]

Из двух значений d выбирается наибольшее.

2.9.3. Толщина в миллиметрах щек проушины в районе выреза под штырь определяется из условия прочности на разрыв в опасном сечении и смятия по поверхности прилегания штыря к подушке по формулам:

$$S_1 = \frac{10^3 \cdot n \cdot T}{2r\,[\sigma]} \cdot \frac{1+\left(\frac{r}{r_1}\right)^2}{1-\left(\frac{r}{r_1}\right)^2}$$

$$\left[S_1 = \frac{10^5 \cdot n \cdot T}{2r\,[\sigma]} \cdot \frac{1+\left(\frac{r}{r_1}\right)^2}{1-\left(\frac{r}{r_1}\right)^2}\right] \qquad (160)$$

$$S_1 = \frac{10^3 \cdot n \cdot T}{d\,[\sigma_{см}]}$$

$$\left[S_1 = \frac{10^5 \cdot n \cdot T}{d\,[\sigma_{см}]}\right] \qquad (161)$$

где n = 1,0 – 1,4 – коэффициент, учитывающий возможную неравномерность распределения усилия T между обеими щеками проушины;

r – радиус выреза под штырь, мм;

r_1 – радиус закругления щеки проушины, принимаемый по конструктивным соображениям, мм;

$[\sigma_{см}] = \sigma_н$ – допускаемые напряжения на смятие, Н/мм^2 [кгс/см^2]

2.9.4. Толщина S и длина b щеки проушины в мм принимается из конструктивных соображений, после чего прочность щеки в этом районе проверяется по формуле

$$S \cdot b \geq \frac{10^3 \cdot n \cdot T}{2\,[\sigma]}$$

$$\left[S \cdot b \geq \frac{10^5 \cdot n \cdot T}{2\,[\sigma]}\right] \qquad (162)$$

Сварной шов, соединяющий щеку с накладным листом, должен быть равнопрочен самой щеке в этом районе. В случае приварки щеки односторонним угловым швом длина шва $\ell_{сб}$ в миллиметрах определяется по формуле

$$\ell_{сб} \geq \frac{10^3 \cdot n \cdot T}{2 \cdot 0{,}7 K [\tau_э]}$$

$$\left[\ell_{сб} \geq \frac{10^5 \cdot n \cdot T}{2 \cdot 0{,}7 K [\tau_э]} \right] \qquad (163)$$

где K – калибр сварного шва, мм;

$[\tau_э] = 80$ Н/мм^2 [800 кгс/см^2] – допускаемые напряжения на срез для сварных швов

2.9.5. Толщина накладного листа S_2 в мм определяется из условия прочности на срез вдоль щеки по формуле

$$S_2 \geq \frac{10^3 n \cdot T}{2 \ell [\tau]}$$

$$S_2 \geq \frac{10^5 \cdot n \cdot T}{2 \ell [\tau]} \qquad (164)$$

2.9.6. Если накладной лист приваривается к наружной обшивке по периметру, то длина периметра накладного листа L в мм определяется из условия прочности сварного шва с учётом электрозаклепок и прочности наружной обшивки по формулам:

$$L \geq \frac{10^3 T}{0{,}7 K_1 [\tau_э]}$$

$$\left[L \geq \frac{10^5 T}{0{,}7 K_1 [\tau_э]} \right] \qquad (165)$$

$$L \geq \frac{10^3 T}{\sqrt{} S_3 [\tau]}$$

$$\left[L \geq \frac{10^5 T}{\sqrt{} S_3 [\tau]} \right], \qquad (166)$$

где K_1 – калибр сварного шва, соединяющего накладной лист с наружной обшивкой, мм;

S_3 – толщина наружной обшивки, мм;

$\sqrt{} = 0{,}8–0{,}9$ – коэффициент, учитывающий уменьшение толщины обшивки от возможных подрезов при сварке

Из двух значений L выбирается наибольшее.

2.9.7. Если накладной лист крепится к наружной обшивке на болтах, то количество и диаметр болтов в мм определяются из условий прочности болтового соединения по формулам:

на срез болтов

$$[\tau] \geq \frac{4\,T\cos\alpha}{i\,\pi\,d_б^2}\,10^3 \qquad \left[\,[\tau] \geq \frac{4\,T\cos\alpha}{i\,\pi\,d_б^2}\,10^5\,\right] \tag{167}$$

на смятие накладного листа по поверхност контакта с болтами

$$[\sigma_{см}] \geq \frac{10^3\,T\cos\alpha}{i\cdot S_2\cdot d_б} \qquad \left[\,[\sigma_{см}] \geq \frac{10^5\cdot T\cdot\cos\alpha}{i\cdot S_2\cdot d_б}\,\right] \tag{168}$$

на смятие наружной обшивки по поверхности контакт. с болтами

$$[\sigma_{см}] \geq \frac{10^3\cdot T\cos\alpha}{i\cdot S_3\cdot d_б} \qquad \left[\,[\sigma_{см}] \geq \frac{10^5\cdot T\cos\alpha}{i\cdot S_3\cdot d_б}\,\right]. \tag{169}$$

на растяжение болтов

$$[\sigma] \geq \frac{4\,T\cos\alpha}{i\,\pi\,d_б^2}\cdot 10^3 \qquad \left[\,[\sigma] \geq \frac{4\,T\cos\alpha}{i\,\pi\,d_б^2}\cdot 10^5\,\right] \tag{170}$$

где i – количество болтов;

$d_б$ – диаметр болта, мм;

α – угол между направлением натяжения стропа и плоскостью наружной обшивки, град.

2.9.8. При установке проушины на наружной обшивке против жесткой опоры, например, против поперечной переборки или рамного пангоута, рекомендуется проверить прочность приварки переборки или шпангоута к наружной обшивке и прочность полотнища переборки или стенки шпангоута в районе приварки к обшивке по формулам:

$$[\tau_э] \geq \frac{10^3\,T\cdot\sin\alpha}{1{,}4\,\delta_1\cdot K_2} \qquad \left[\,[\tau_э] \geq \frac{10^5\,T\cdot\sin\alpha}{1{,}4\,\delta_1\,K_2}\,\right] \tag{171}$$

$$[\sigma] \geq \frac{10^3\, T \cdot \sin\alpha}{\nu\, b_1 \cdot S_4}$$

$$\left[[\sigma] \geq \frac{10^5 \cdot T \cdot \sin\alpha}{\nu\, b_1 \cdot S_4} \right] \qquad (172)$$

где K_2 – калибр шва приварки переборки или шпангоута к наружной обшивке, мм;

b_1 – длина накладного листа, мм;

S_4 – толщина переборки, мм.

2.9.9. Если проушина устанавливается на наружной обшивке против шпангоута или сила T действует в плоскости шпангоута, то прочность шпангоута проверяется с учётом продольного сжатия и поперечного изгиба по формуле

$$[\sigma] \geq \frac{10\, T \cos\alpha}{F} + \frac{10^3 M}{W}$$

$$\left[[\sigma] \geq \frac{10^3 T}{F} + \frac{10^5 M}{W} \right], \qquad (173)$$

где F – площадь сечения шпангоута с присоединенными пояском обшивки, см^2;

W – момент сопротивления шпангоута с присоединенным пояском обшивки, см^3;

M – максимальный изгибающий момент от силы $P = T \cdot \sin\alpha$, кН·м [тс·м]

Шпангоут рассматривается как однопролетная балка со свободно опертыми концами, если пролет находится между палубами, и с одним жестко заделанным концом и одним свободно опертым, если пролет расположен между палубой и днищем.

Если остаточные деформации не допускаются расчёт выполняется по допускаемым напряжениям, в остальных случаях расчёт рекомендуется выполнять по предельным нагрузкам.

2.10. Проверка прочности надстройки при снятии судна с мели

2.10.1. При снятии с мели к судну прикладываются тяговые усилия буксиров, либо других средств.

На аварийном судне, обычно не приспособленном для буксировки, буксирные тросы и браги крепят за кнехты, комингсы трюмов и другие прочные конструкции корпуса (надстройки, рубки, бак, ют).

Если комингсы грузовых трюмов, бак, ют имеют достаточную прочность для крепления браги, то прочность надстроек и рубок не всегда достаточна для крепления за них буксирных тросов или браги.

При заводке браги вокруг надстройки или рубки следует учитывать, что хотя вся надстройка обычно имеет достаточную прочность, чтобы не быть сорванной, она может быть перерезана, особенно по углам от приложенных усилий браги. На углах надстройки или рубки, имеющих малый радиус закругления, возможно прорезание конструкции брагой.

Для предохранения надстройки от прорезания брагой под нее устанавливают специальные деревянные подушки.

2.10.2. Проверка прочности обшивки переборок надстройки (рубки) проверяется в соответствии с подразделом 2.6.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Справочное

ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ СУДНА ПОРОЖНЕМ И АБСЦИССЫ ЕГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

I. Условные обозначения

I.I. В приложении приняты следующие обозначения:

$P_к$ – масса оборудованного корпуса, включая массу главных генераторов и относящегося к ним оборудования, а также систем и обслуживающих их механизмов, т

$P_{ст}$ – масса стали в составе корпуса, т;

$P_{об}$ – масса оборудования, т;

$P_{ок}$ – масса стали основного корпуса, т;

$P_н$ – масса стали надстроек, т;

$P_р$ – масса стали основного блока рубок, т;

$P_б$ – масса бульба, т;

$P_{наб}$ – увеличение массы судна при поперечном наборе, т;

$P_{дб}$ – увеличение массы при наличии двойных бортов, т;

$P_{лп}$ – увеличение массы корпуса при ледовых подкреплениях, т;

$P_м$ – масса машинной установки, т;

$P_{пс}$ – масса порожнего судна, т.

2. Масса судна порожнем

2.I. Масса судна порожнем – $P_{пс}$ состоит из массы стального корпуса – $P_{ст}$, массы оборудования $P_{об}$ и массы машинной установки $P_м$

$$P_{пс} = P_{ст} + P_{об} + P_м \qquad (I)$$

Определение массы стального корпуса, оборудования корпуса и машинной установки производится по эмпирическим формулам и графикам, приведенным ниже.

2.2. Масса стали в составе корпуса:

$$P_{ст} = P_{ок} + P_н + P_р \qquad (2)$$

Масса стали основного корпуса:

$$P_{ок} = \sqrt{n_0} \cdot C \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \qquad (3)$$

где $\nabla_{пл} = 1{,}025\, L \cdot B \cdot H_c \delta_н$ (4)

Приведенная высота борта:

$$H_c = D + \frac{z_н + z_к}{2}, \quad (5)$$

где $z_н$ и $z_к$ – ординаты седловатости на носовом и кормовом перпендикулярах:

$$\delta_н = C_б + A_б \frac{D-d}{D}(1 - C_б) \quad (6)$$

$A_б = 0{,}25$ при незначительном развале шпангоутов,

$A_б = 0{,}50$ при значительном их развале.

Коэффициент массы определяется по формуле

$$C = 0{,}103\left[1 + 17(L - 110)^2 \cdot 10^{-6}\right] \quad (7)$$

или по графикам рис. I в зависимости от типа и длины судна.

Поправочные коэффициенты K_i задаются следующими формулами:

$$K_1 = 1 + 0{,}038\left(\frac{L}{D} - 12\right),$$

$$K_2 = 1 + 0{,}06\left(n_п - \frac{D}{4}\right), \quad (8)$$

$$K_3 = 1 + 0{,}04\left(\frac{L}{B} - 6{,}5\right),$$

$$K_4 = 1 + 0{,}2\left(\frac{d}{D} - 0{,}85\right),$$

$$K_5 = 0{,}96 + 1{,}2(0{,}86 - \delta_н)^2,$$

$$K_6 = 1 + 0{,}75\,\delta_н\,(\beta - 0{,}98),$$

где $n_п$ – число палуб.

Если судно имеет бульб, то его вес определяется по формуле:

$$P_т = 0{,}4 - 0{,}7\% \text{ от } P_{ок} \quad (9)$$

Наличие мачт и грузовых колонн учитывается в зависимости от дедвейта судна по графику рис. 2. Топливные танки в машинном отделении и диптанки в пределах грузового пространства увеличивают массу основного корпуса $P_{ок}$ в соответствии с табл. I

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

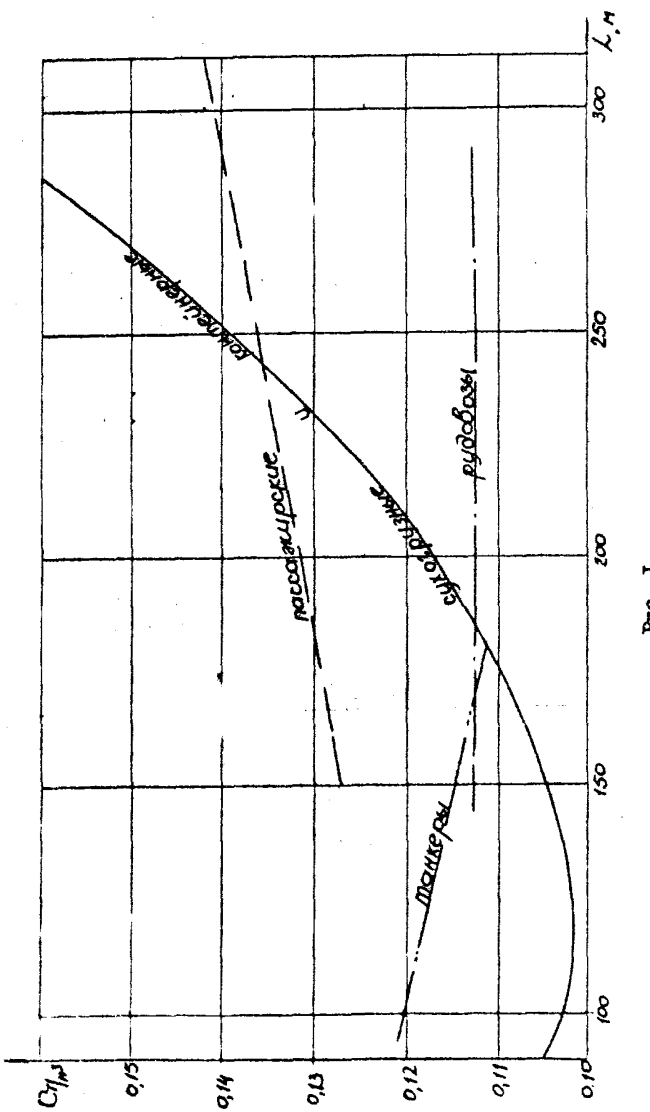


Рис. I

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продол..ение)

Зависимость массы мачт и колонн от дедвейта судна

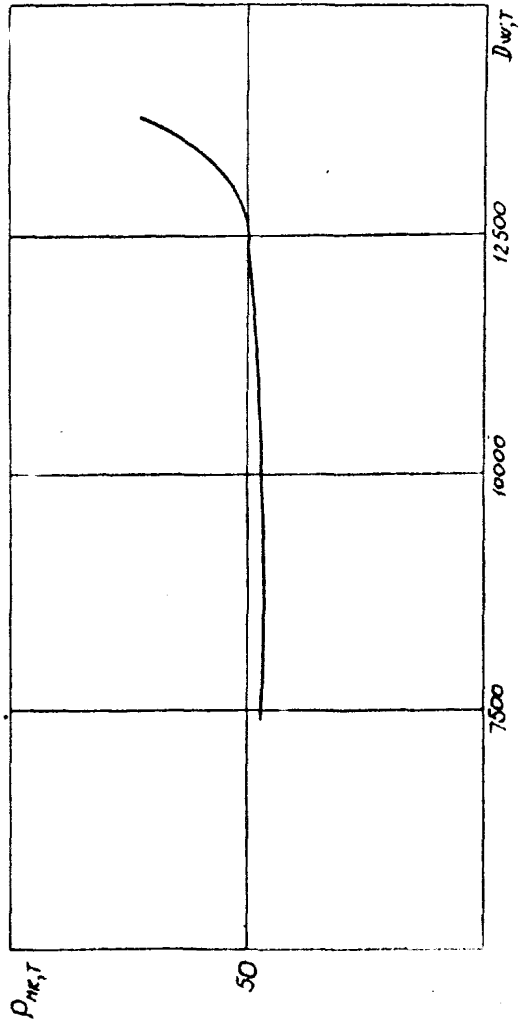


Рис. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

Таблица I

Дедвейт судна, т	Ёмкость танков, $м^3$	Масса конструкций, т
5000	I000	50
I0000	2000	70
I:000	3000	90

При поперечной системе набора масса основного корпуса $P_{ок}$ увеличивается на величину

$$P_{наб} = 0{,}025\, P_{ок} \qquad (I0)$$

При наличии двойных бортов на величину

$$P_{дб} = 0{,}07\, P_{ок} \qquad (II)$$

Наличие ледовых подкреплений увеличивает массу основного корпуса на величину:

$$P_{лп} = K \cdot P_{ок} \qquad (I2)$$

где K - коэффициент, определяемый из табл. 2 в зависимости от категории ледовых подкреплений

Таблица 2

Категория ледовых подкреплений	Коэффициент К
Л 3	0,04
Л 2	0,06
Л I	0,08
У Л	0,I0
У Л А	0,I4

Масса стали надстроек определяется по формуле

$$P_н = \sum_{i=1}^{n} P_{нi} \,, \qquad (I3)$$

где n - число (ярусов)

Масса каждой надстройки определяется в зависимости от ее объёма $V_н$ по формуле

$$P_{нi} = q_{нi} \cdot v_{нi} \cdot 10^{-3} \qquad (I4)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

Относительная масса $q_{нi}$ рассчитывается в зависимости от длины судна L и высоты надстройки h по рис. 3 и 4 для бака и юта соответственно.

Масса основного блока рубок высотой 2,6 м вычисляется по формуле

$$P_р = q_р \cdot V_р \cdot 10^{-3}, \qquad (I5)$$

где $V_р$ – общий внутренний объём рубок;

$q_р$ = 60 кг/м^3 – при расположении первого яруса рубок на верхней непрерывной палубе основного корпуса;

$q_р$ = 58 кг/м^3 при размещении рубок над надстройками.

2.3. Масса оборудования $P_{об}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{об} = q_{об} (L \cdot B \cdot D_1)^{2/3} \qquad (I6)$$

где

$$D_1 = D + \frac{\sum l_{нi} h_{нi}}{L}, \qquad (I7)$$

$l_{нi}, h_{нi}$ – длина и высота надстроек;

$q_{об}$ – определяется по рис. 5 для двухпалубных судов, в случае большего (меньшего) числа палуб следует увеличить (уменьшить) $q_{об}$ на (7-I0)%.

2.4. Масса машинной установки определяется по формуле

$$P_м = q_м \cdot N \cdot 10^{-3} \qquad (I8)$$

где N – мощность машинной установки в л.с.,

$q_м$ – удельная масса машинной установки, принимается по табл. 3.

При промежуточном расположении машинного отделения массы увеличиваются: для дизельных установок на 3%, для турбинных установок – на 5%.

При прочих равных условиях массы двухвальных установок увеличиваются на I0%.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

Относительная масса стали для бака $q_б$

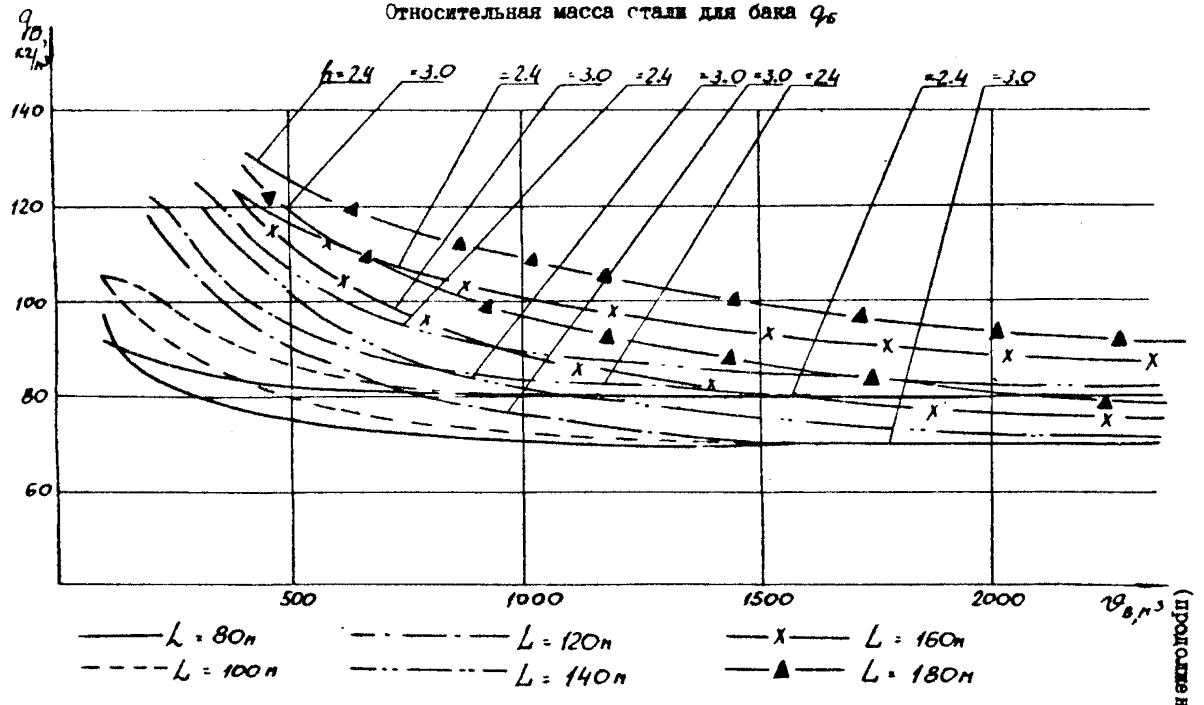


Рис. 3

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

Относительная масса юта $q_{ю}$

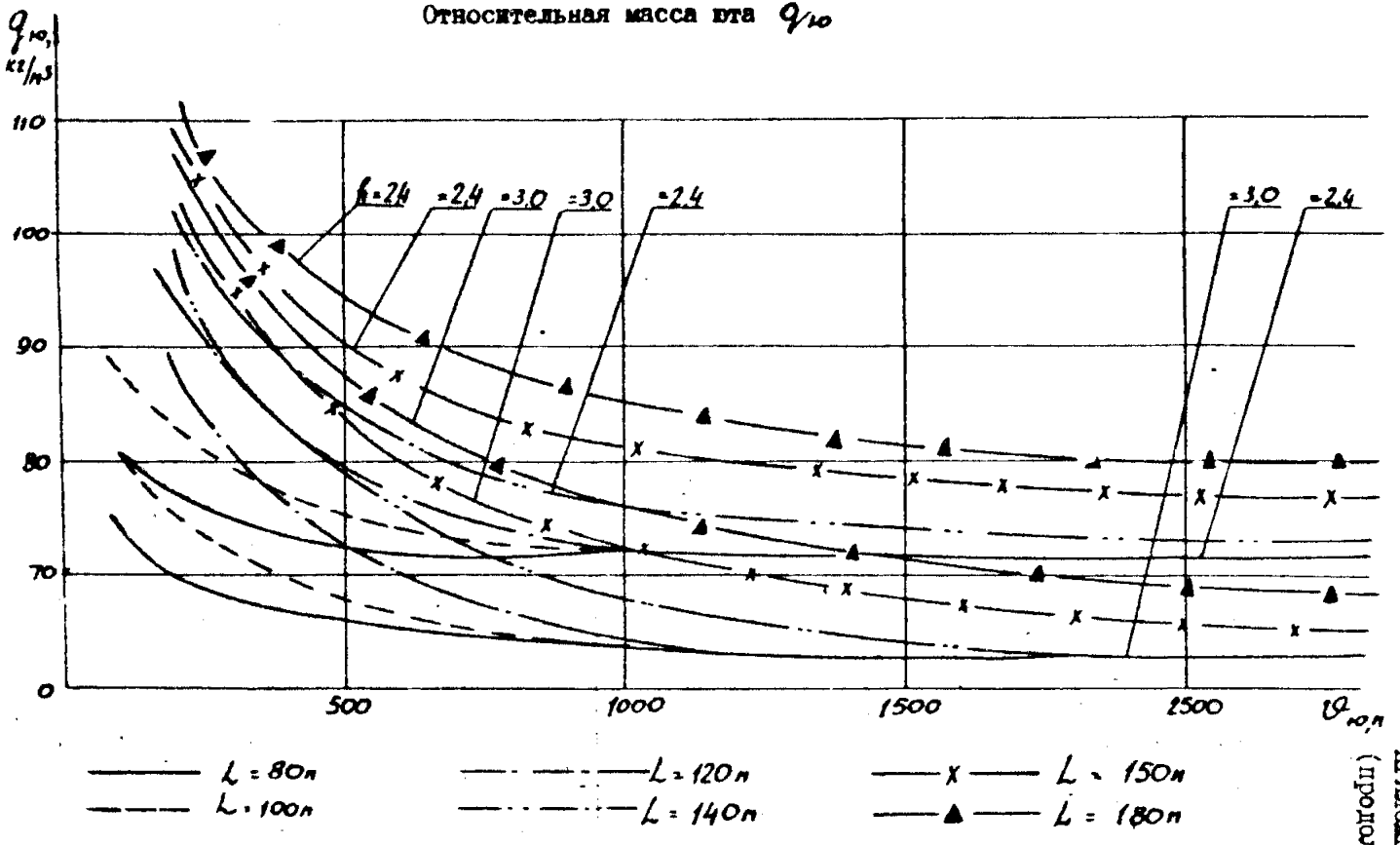
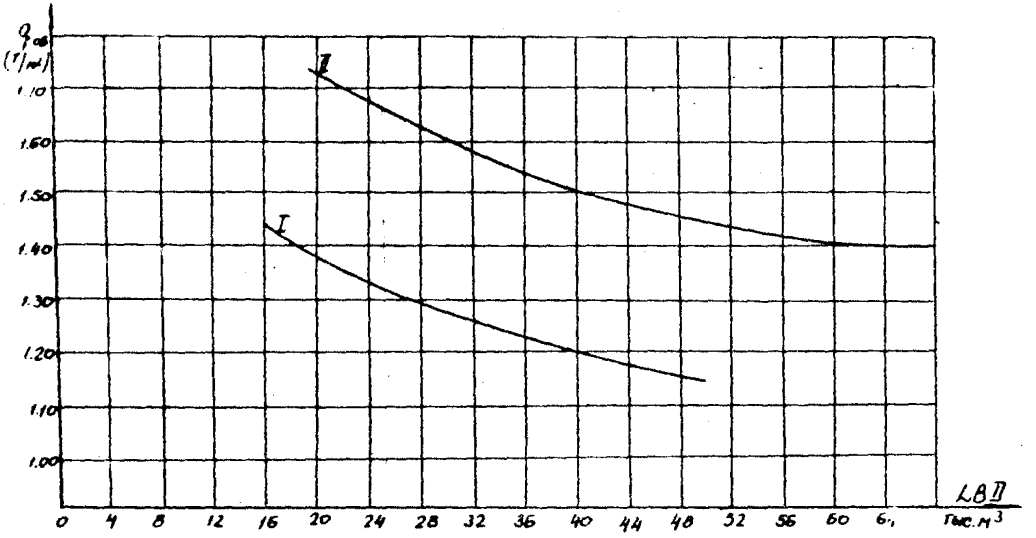


Рис.4

Зависимость измерителя веса оборудования от кубического модуля $L B D$ двухпалубных судов



I – зона судов с умеренным раскрытием палубы: B_n : $B \leqslant 0{,}55$
II – зона судов с большим раскрытием палубы: B_n : $B \geqslant 0{,}60$

Рис.5

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

Таблица 3

Номинальная мощность, л.с.	Дизельные установки		Паротурбинные установки, кг/л.с.
	малооборотные с непосредственной передачей на винт, кг/л.с.	среднеоборотные с понижающей передачей, кг/л.с.	
4000	73	55	-
6000	68	5I	-
8000	65	49	-
I0000	63	47	46
I2000	6I	46	45
I4000	58	45	44
I6000	57	44	43
I8000	55	43	4I
20000	53	42	40
22000	53	4I	40
30000	52	4I	38

3. Определение абсциссы центра тяжести судна

Абсцисса центра тяжести судна от миделя определяется по формуле

$$x_{gпс} = \frac{1}{p_{пс}} (p_к \cdot x_к + p_м \cdot x_м) - \frac{L}{2}, \qquad (19)$$

где $x_к, x_м$ – абсциссы соответствующих статей нагрузки, взятые от кормового перпендикуляра;

$$x_к = 0{,}494 L \quad \text{при} \quad C_б < 0{,}7$$

$$x_к = 0{,}493 L \quad \text{при} \quad C_б > 0{,}7 \qquad (20)$$

$$x_м = x_{мп} - 0{,}555\, \ell_м, \qquad (21)$$

где $x_{мп}$ – абсцисса носовой переборки машинного отделения, взятая от кормового перпендикуляра;

$\ell_м$ – длина машинного отделения.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)

4. Определение веса и центра тяжести судовых устройств

При расчёте перерезывающих сил и изгибающих моментов по методу интегральных коэффициентов необходимо знать вес судовых устройств и их центры тяжести.

Приближенно они определяются по формулам:

рулевое и швартовно-буксирное устройство - $P_{ру}$

$$P_{ру} = 0{,}0022\, L \cdot B \cdot D \quad \text{- сухогрузные суда,} \tag{22}$$

$$P_{ру} = 0{,}0012\, L \cdot B \cdot D \quad \text{- танкеры и рудовозы}$$

$X_{ру}$ - на кормовом перпендикуляре;

якорное устройство $P_я$

$$P_я = 0{,}0033\, L \cdot B \cdot D \tag{23}$$

$X_я = 0{,}92\, L$ - от кормового перпендикуляра,

гребной вал с дейдвудом, подшипниками и фундаментами

$$P_в = 11{,}0 \cdot d_{гв}^2 \cdot \ell_{гв}, \tag{24}$$

где $d_{гв}$ - диаметр гребного вала, м;

$\ell_{гв}$ - длина гребного вала, м;

гребные винты:

диаметр, м	масса, т
2,0	0,75
3,0	2,45
4,0	5,30
5,0	10,00
6,0	16,00
7,0	28,00
8,0	32,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ПРОГРАММА "ВОЛНА-82" ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ И ПРОГИБОВ НА ТИХОЙ ВОДЕ И ВОЛНЕНИИ

I. АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ

I.I. Для проведения всех расчётов вводятся следующие характеристики:

$$L, \gamma, c, h, \lambda, d_н, d_к,$$

где L - длина судна, м;
γ - ρg , кН/м^3 [тс/м^3] ;
c - коэффициент выступающих частей;
h - высота волны, м;
λ - длина волны, м;
$d_н$ - осадка носом, м ($d_н \approx \frac{D}{2}$);
$d_к$ - осадка кормой, м ($d_к \approx \frac{D}{2}$).

Кроме того, задается масштаб Бонжана, для каждого из 2I равноотстоящего шпангоута значениями осадок и соответствующих площадей.

Задаются также значения моментов инерции поперечных сечений судна по 2I теоретическому шпангоуту, модуль Юнга и максимальное значение момента инерции.

I.2. По заданным нагрузкам на каждый теоретический отсек определяется весовое водоизмещение - Δ кН [тс] и абсцисса центра тяжести судна $x_{g\,зо}$, м

$$\Delta = \sum_{i=1}^{20} P_i \qquad (I)$$

где P_i - вес i-го теоретического отсека, кН [тс].

I.3. Уддифферентовка судна сводится к отысканию ватерлинии, обеспечивающей одновременное выполнение условий:

$$\Delta = \gamma V$$
$$x_g = x_c, \qquad (2)$$

где V - объёмное водоизмещение судна, м^3;
x_c - абсцисса центра величины, м.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

I.4. Вычисляется объём погруженной части по заданным осадкам $d_н$ и $d_к$, а также соответствующее значение x_{co}.

Поскольку, удифферентовка судна соответствует переходу x_{ci} в x_g, то необходимое на данном этапе расчёта изменение угла дифферента, в радианах, определяется по формуле

$$\delta\psi_i = \frac{1}{R}(x_g - x_{ci}), \qquad (3)$$

где R – продольный метацентрический радиус, м.

I.5. Для определения значения R проводится ватерлиния под углом дифферента $\psi_0 = 1' = 0{,}000291$ рад. Этой ватерлинии соответствует новое положение центра величины x_{c1}. Очевидно, что

$$\psi_0 = \frac{1}{R}(x_{c1} - x_c) \qquad (4)$$

$$R = \frac{x_{c1} - x_c}{0{,}000291} \qquad (5)$$

I.6. Пусть близким значениям осадки на миделе d_i и d_{i-1} соответствуют значения объёмного водоизмещения V_i и V_{i-1}. Предполагая, что площадь ватерлинии S при переходе от V_{i-1} к V_i, изменяется несущественно, приближенно записывается

$$S = \frac{V_{i-1} - V_i}{d_{i-1} - d_i} \qquad (6)$$

Для очередного приближения к положению равновесия по условию $\Delta = \gamma V$ необходимо от соответствующей V_i осадки d перейти к соответствующему объёму Δ/γ осадки

$$d_{i+1} = d_i + \delta d_i \qquad (7)$$

Если воспользоваться полученным выше выражением для площади ватерлинии, то получим

$$\delta d_i = \left(\frac{\Delta}{\gamma} - V_i\right)\frac{d_{i-1} - d_i}{V_{i-1} - V_i} \qquad (8)$$

I.7. Вычисление поправок δd_i и $d\psi_i$ прекращается, полагая судно удифферентованным при:

$$\left|\frac{\Delta}{\gamma V} - 1\right| \leqslant 0{,}005 \qquad (9)$$

$$\left|x_g - x_a\right| \leqslant 0{,}001\,L \qquad (10)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

I.8. Объём погруженной части судна и абсцисса центра величины вычисляются по формулам:

$$V_i = \int_{-0.5L}^{0.5L} w\,dx = \Delta L \sum_{j=1}^{21} (w_j) - \frac{w_1 + w_{21}}{2} \qquad (II)$$

$$x_d V_i = \int_{-0.5L}^{0.5L} x\,w\,dx = \Delta L^2 \sum_{j=1}^{21} [w_j (11-j)] - \frac{10(w_1 + w_{21})}{2} \qquad (I2)$$

Осадка на каждом j - м шпангоуте определяется по формуле:

$$d_j = [(d_K - d_H)(j-1)\Delta L] \cdot L + d_H \qquad (I3)$$

Погруженная площадь j -го шпангоута w_j находится линейным интерполированием по значениям масштаба Бонжана.

I.9. Удифферентовка судна на трохоидальной волне длиной λ и высотой h отличается от описанной выше программы только определением осадки на j -ом шпангоуте, которая учитывает значение ординат трохоиды z_j.

Таким образом осадка запишется следующим образом:

$$d_j = d_{TB} + z_j \qquad (I4)$$

Ординаты трохоиды на каждом шпангоуте определяются по формуле:

$$z_j = \frac{h}{2} \cdot K_j \,, \qquad (I5)$$

где K_{ij} - коэффициент, приведенный в табл. I.

I.IO. Интенсивность нагрузки, вызывающей общий изгиб корпуса судна, определяется по формуле

$$g(x) = P(x) - \gamma \cdot w(x), \qquad (I6)$$

где $P(x)$ - интенсивность весовой нагрузки, кН/м [тс/м]
$w(x)$ - погруженная площадь шпангоута, м^2

Перерезывающая сила и изгибающий момент в произвольном сечении:

$$N(x) = \int_{-0.5L}^{x} (\rho - \gamma w) \cdot dx,$$
$$M(x) = \int_{-0.5L}^{x} \int_{-0.5L}^{x} (\rho - \gamma w) \cdot dx \cdot dx \qquad (I7)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

Таблица I

Относительные ординаты трохоиды

Теоретические шпангоуты	I0	9; II	8; I2	7; I3	6; I4
Вершина волны на миделе	-I,00	-0,932	-0,742	-0,470	-0,I58
Подошва волны на миделе	I,00	0,963	0,854	0,667	0,44I

Теоретические шпангоуты	5; I5	4; I6	3; I7	2; I8	I; I9	0; 20
Вершина волны на миделе	0,I54	0,44I	0,667	0,854	0,963	I,00
Подошва волны на миделе	0,I54	-0,I58	-0,470	-0,742	-0,932	-I,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

Поскольку, весовая нагрузка $P(x)$ задается ступенчатой кривой, а $w(x)$ – плавной кривой, то перерезывающая сила определяется по зависимости:

$$N(x) = \int_{-0,5L}^{x} P\,dx - \gamma \int_{-0,5L}^{x} w\,dx, \qquad (19)$$

где первый интерграл вычисляется по правилу прямоугольника, а второй – по правилу трапеций.

Учитывая, что перерезывающая сила и изгибающий момент в оконечностях судна должны обращаться в нуль, т.е.:

$$N(0,5L) = N(-0,5L) = 0 \qquad (20)$$

$$M(0,5L) = M(-0,5L) = 0 \qquad (21)$$

поправка на незамыкание эпюр распределяется по длине судна по линейному закону.

I.II. Ординаты упругой линии определяются в результате двойного интегрирования уравнения $EJV'' = M$

В результате интегрирования получается:

$$y = \frac{M_0 L^2}{E J_0}\left[\int_0^{\xi}\int_0^{\xi} \frac{M}{M_0}\cdot\frac{J_0}{J}\,d\left(\frac{x}{L}\right)d\left(\frac{x}{L}\right) + a\left(\frac{x}{L}\right) + b\right], \qquad (22)$$

где a и b – постоянные интегрирования;

M_0, J_0 – некоторые средние значения изгибающего момента и момента инерции, вводимые для удобства расчёта.

Полагая стрелку прогиба V на концах судна, равной нулю, получаем:

$$V = \frac{M_0 L^2}{E J_0}\left[\int_0^{\xi}\int_0^{\xi} f(\xi)\,d\xi\,d\xi - \xi\int_0^{\xi}\int_0^{\xi} f(\xi)\,d\xi\,d\xi\right], \qquad (23)$$

где

$$f(\xi) = \frac{M J_0}{M_0 J} \qquad (24)$$

$$\xi = \frac{x}{L} \qquad (25)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

2. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА ФОРТРАНПРОГРАММЫ "ВОЛНА-82"

2.I. Для систематических расчётов перерезывающих сил, изгибающих моментов и прогибов составлена фортран-программа "Волна-82" для ЭВМ ЕС. Опыт применения аналогичных программ для ЭВМ "Минск" показал, что наиболее целесообразным представляется объединение в одну общую программу удифферентовки судна и определения перерезывающих сил, изгибающих моментов и прогибов как на тихой воде, так и на волнении.

Программа производит вычисления в последовательности, изложенной выше и общепринятой при проведении аналогичных расчётов вручную.

2.2. Программа "ВОЛНА-82" состоит из головной программы и подпрограмм. Некоторые подпрограммы оформлены как программы-функции.

2.3. Программа *VOLNA* является головной и осуществляет вызов подпрограммы по вводу характеристик судна и масштаба Бонжана. Затем в цикле производится ввод весовой нагрузки и вызов подпрограммы по удифферентовке, определению усилий и прогибов на тихой воде и волнении.

Результаты расчёта сводятся в общую таблицу.

Ниже приведено описание подпрограмм в порядке обращения к ним по ходу выполнения программы.

2.4. Подпрограмма *WOLWI* вводит общие характеристики судна и волнения, а также значения моментов инерции поперечных сечений судна.

2.5. Подпрограмма *WOLBON* – предназначена для ввода масштаба Бонжана.

Размер матрицы чисел 2Ix40, т.е. для каждого из 2I теоретических шангоутов может быть введено I9 пар чисел (d и w). В случае введения меньшего количества пар чисел, остальные места на данном шангоуте заполняются нулями.

2.6. Подпрограмма *WOLK* – производит ввод данных о составителе исходных данных, либо шифр варианта, а также ввод весовой нагрузки по 20 теоретическим отсекам.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

2.7. Подпрограмма *TABIS* предназначена для распечатки шапки исходных данных.

Печатаются характеристики программы "Волна-82", наименование судна, а также фамилия составителя задачи по вводу весовой нагрузки.

2.8. Подпрограмма *TABL* - предназначена для распечатки исходных данных по общим характеристикам судна и весовой нагрузке. Печатаются также сумма постатейной нагрузки и расчётное положение п.т.

2.9. Подпрограмма *OST* - производит удифферентовку судна на тихой воде, в результате её работы получаем осадки носом и кормой и массив погруженных площадей шангоутов.

2.IO. Подпрограмма *WOLW* - производит вычисление смоченных площадей шангоутов на тихой воде, а также вычисляет объёмное водоизмещение и положение центра величины.

2.II. Подпрограмма *WOLF* определяет по масштабу Бонжана погруженную часть i -го шангоута. В случае, если действующая ватерлиния лежит между значениями площадей, введенных в ЭВМ и описывающих масштаб Бонжана, производится линейная интерполяция. Если действующая ватерлиния будет лежать ниже основной линии, либо выше верхней палубы, то смоченная площадь шангоута принимается равной нулю или максимальной площади до палубы.

2.I2. Подпрограмма *MN* - производит вычисление перерезывающих сил и изгибающих моментов.

2.I3. Подпрограмма *INTEGP* - предназначена для интегрирования внешней нагрузки (сил веса на теоретическую шапцу) при вычислении перерезывающих сил. Интегрирование производится по правилу прямоугольника.

2.I4. Подпрограмма *INTEGT* - предназначена для интегрирования нагрузки от сил поддержания при вычислении перерезывающих сил, либо интегрирования перерезывающих сил при вычислении изгибающего момента. Подпрограмма производит интегрирование по правилу трапеций.

2.I5. Подпрограмма АЮМ находит максимальное значение

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

изгибающего момента для случаев как положительного массива, так и отрицательного. Если в массиве встречаются как положительные, так и отрицательные значения, находится максимальное значение по абсолютной величине.

2.16. Подпрограмма *PRG* вычисляет значения прогибов по заданным значениям изгибающих моментов и моментов инерции.

2.17. Подпрограмма *PVW* – производит задание профиля трохоидальной волны, удифферентовку и определение усилий и прогибов на вершине и подошве волны.

2.18. Подпрограмма *OSTPV* – производит удифферентовку судна на вершине и подошве волны. В результате выводятся значения погруженных площадей шпангоутов и осадки носом и кормой.

2.19. Подпрограмма *WOLPV* – производит вычисление смоченных площадей шпангоутов, а также вычисляет объёмное водоизмещение и положение центра величины на волнении.

2.20. Подпрограмма *FFFRTI* – предназначена для распечатки результатов расчёта в табличной форме, где выводятся значения перерезывающих сил, изгибающих моментов и прогибов на каждом теоретическом шпангоуте для случаев нахождения судна на тихой воде, вершине и подошве волны.

Распечатываются также для каждого из положений судна осадки носом, кормой и дифферент.

3. ПОДГОТОВКА И ВВОД ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

3.1. При вводе исходной информации используются формат *F*, формат *A* и оператор *NAMELIST*.

Оператор *NAMELIST* предоставляет довольно широкие возможности при перфорации исходных данных.

Данные, которые вводятся в ЭВМ с помощью оператора *READ(x)* должны быть подготовлены в специальном виде (здесь *x* – имя списка *NAMELIST*). Первым символом каждой записи должен быть пробел, вторым символом – символ *&*, затем следует имя списка *NAMELIST* с последующим пробелом.

Например, если *ABC* – имя списка *NAMELIST*, то первая запись должна содержать символы␣*&ABC*␣, затем размещаются данные,

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

разделенные запятыми, а конец данных указывается символами &END.

Каждое данное готовится в одном из следующих форм:

ИМЯ ПЕРЕМЕННОЙ = КОНСТАНТА;

ИМЯ ЭЛЕМЕНТА МАССИВА = КОНСТАНТА;

ИМЯ МАССИВА = СПИСОК КОНСТАНТ,

где КОНСТАНТА - целая, вещественная, текстовая константа

СПИСОК КОНСТАНТ - совокупность констант, разделенных запятыми. Количество констант не должно превышать количество элементов в массиве. Если N последовательных констант имеют одно и то же значение, то они могут быть записаны в виде:

N_* КОНСТАНТА

Например, запись 3*3.5I идентичная записи 3.5I,3.5I,3.5I

Ниже описаны правила перфорации массивов исходных данных. Последовательность описания соответствует последовательности записи информации на бланки, перфорации и ввода в ЭВМ.

3.2. На первой карте набивается название судна, для которого производится расчёт. Например, на ЭВМ ставится задача для судна "Ленинский комсомол" . В этом случае должна быть отперфорирована карта (формат перфорации - 20А4)

ЛЕНИНСКИЙ КОМСОМОЛ

Формат 20 А4 означает, что на карте может быть отперфорировано не более 80 символов.

3.3. Массив общих характеристик судна и волнения состоит из 7 чисел и ввод производится по списку NAMELIST следующего вида:

␣␣␣␣␣␣NAMELIST/XR/ALR, GCA, CG, HW, LW, TN1, TK1

Перечислим характеристики в порядке их следования:

ALR - длина судна расчётная (между перпендикулярами), м ;

GCA - удельный вес воды, тс/м^3;

CG - коэффициент выступающих частей;

HW - высота расчётной волны, м;

LW - длина расчётной волны, м;

TN1 - осадка носом по $d_н$, м; $(d_н \approx \frac{D}{2})$

TK1 - осадка кормой по $d_к$, м $(d_к \approx \frac{D}{2})$

3.4. Ввод массива моментов инерции производится по списку следующего вида:

␣␣␣␣␣␣NAMELIST/RR/DMI/RP/DE, DMIMAX

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

Здесь *DMI* - массив (2I число) значений моментов инерции на каждом теоретическом шпангоуте, $м^4$;

DE - модуль Юнга, $тс/м^2$;

DMIMAX - максимальное значение массива моментов инерции, $м^4$

3.5. Информация по масштабу Бонжана вводится для каждого теоретического шпангоута (2I группа массивов).

На первой перфокарте каждой группы в формате *I3* набивается число ватерлиний, для которых снимаются значения площадей, начиная с осадки d =0,0 м.

На каждой последующей перфокарте в формате *F* 6.3 и *F* IØ.3 заносятся значения осадок и соответствующих им площадей с масштаба Бонжана.

Количество осадок и соответствующих им площадей не должно превышать I9.

3.6. Исходные данные по весовой нагрузке состоят из отдельных массивов, соответственно числу вариантов загрузки судна.

На перфокарте в формате *I4* набивается число рассчитываемых вариантов загрузки.

Перед каждым массивом весовой нагрузки в формате *2ØA4* набивается текстовая информация о варианте нагрузки, либо о составителе.

Ввод массива весовой нагрузки производится по списку следующего вида

```
      NAMELIST/PR/P(21)
```

где *P* - массив числа тонн, приходящихся на каждую теоретическую шпацию, тс.

Последними в исходной информации следуют две карты:

```
/*
//
```

3.7. Для вызова программы с диска должны быть набиты следующие карты:

```
//GGGDDJOB 'ЗАКАЗЧИК,''ЖУРАВЛЕВ', MSGLEVEL=(1,1)REGION=250K
//JOBIB DD DSN=LIB2GR, DISP=SHR, UNIT=SOSO, VOL=SER=VALERY
// VOLNA  PROC
// F EXEC PGM=VOLNA
//SYSPRINT DD SYSOUT=A
// FT03F001 DD SYSOUT=A
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

```
//FT06F001 DD SYSOUT=A
//FT14F001 DD DSN=&F14,DISP=(MOD,PASS),UNIT=SYSSQ,SPACE=(TRK(100))
//FT01F001 DD DDNAME=IN
// PEND
// EXEC VOLNA
//F.IN DD *
/*
//
```

Здесь LIBZGR - имя личной библиотеки на диске VALERY, в которой находится загрузочный модуль,

&14 - имя файла последовательного доступа, в котором содержатся исходные данные задачи.

Затем следуют все карты, подготовка и последовательность которых была описана ранее.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

ТАБЛИЦЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СИЛ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВЕСА КОРПУСА

1. Интегральные коэффициенты сил веса - a_k приведены в табл. I (сухогрузы), в табл. 3 (танкеры)
2. Интегральные коэффициенты моментов сил веса - b_k приведены в табл. 2 (сухогрузы), в табл. 4 (танкеры).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица I

Интегральные коэффициенты Q_x сил распределенного веса корпуса (сухогрузы)

$\frac{x}{l}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,040	0,039	0,038	0,037
0,I0	0,075	0,074	0,072	0,07I
0,I5	0,II8	0,II6	0,II4	0,III
0,20	0,I66	0,I63	0,I6I	0,I56
0,25	0,2I9	0,263	0,2II	0,205
0,30	0,277	0,273	0,266	0,260
0,35	0,338	0,333	0,323	0,3I6
0,40	0,400	0,395	0,384	0,375
0,45	0,465	0,456	0,445	0,434
0,50	0,528	0,5I8	0,505	0,492
0,55	0,590	0,580	0,576	0,552
0,60	0,653	0,642	0,627	0,6I0
0,65	0,7I2	0,70I	0,687	0,670
0,70	0,77I	0,760	0,747	0,728
0,75	0,825	0,8I6	0,804	0,787
0,80	0,876	0,869	0,859	0,845
0,85	0,920	0,9I5	0,909	0,898
0,90	0,956	0,953	0,95I	0,945
0,95	0,983	0,982	0,98I	0,990
I,00	I,000	I,000	I,000	0,999

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица 2

Интегральные коэффициенты β_x моментов сил распределенного веса корпуса (сухогрузы)

$\frac{x}{L}$	C_B =0,60	C_B =0,65	C_B=0,70	C_B =0,75
0,00	0,000	0,0000	0,000	0,000
0,05	0,038	0,038	0,038	0,038
0,I0	0,058	0,058	0,058	0,058
0,I5	0,078	0,078	0,078	0,078
0,20	0,099	0,099	0,099	0,099
0,25	0,II8	0,II8	0,II8	0,II8
0,30	0,I39	0,I39	0,I39	0,I39
0,35	0,I60	0,I60	0,I60	0,I60
0,40	0,I80	0,I80	0,I80	0,I80
0,45	0,202	0,202	0,202	0,202
0,50	0,225	0,225	0,225	0,225
0,55	0,248	0,248	0,248	0,248
0,60	0,272	0,272	0,272	0,272
0,65	0,297	0,297	0,297	0,295
0,70	0,322	0,322	0,320	0,3I9
0,75	0,350	0,348	0,345	0,343
0,80	0,379	0,376	0,372	0,370
0,85	0,4I0	0,406	0,400	0,397
0,90	0,443	0,439	0,432	0,427
0,95	0,48I	0,476	0,469	0,46I
I,00	0,525	0,5I9	0,5I0	0,50I

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица 3

Интегральные коэффициенты Q_x сил распределенного веса корпуса (танкеры, рудовозы)

$\frac{x}{l}$	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,000	0,000	0,000
0,05	0,038	0,038	0,037
0,10	0,075	0,075	0,072
0,15	0,119	0,116	0,114
0,20	0,170	0,165	0,162
0,25	0,225	0,219	0,215
0,30	0,282	0,275	0,268
0,35	0,340	0,331	0,324
0,40	0,399	0,389	0,381
0,45	0,457	0,446	0,437
0,50	0,517	0,504	0,494
0,55	0,576	0,563	0,551
0,60	0,636	0,620	0,606
0,65	0,695	0,678	0,663
0,70	0,752	0,735	0,720
0,75	0,809	0,792	0,775
0,80	0,862	0,848	0,832
0,85	0,911	0,901	0,889
0,90	0,952	0,946	0,940
0,95	0,981	0,978	0,977
1,00	1,000	1,000	1,000

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица 4

Интегральные коэффициенты b_x моментов сил распределенного веса корпуса (танкеры, рудовозы)

$\frac{x}{L}$	C_b =0,700	C_b =0,750	C_b=0,800
0,00	0,000	0,000	0,000
0,05	0,038	0,038	0,038
0,10	0,057	0,057	0,057
0,15	0,077	0,077	0,077
0,20	0,097	0,097	0,097
0,25	0,117	0,117	0,117
0,30	0,138	0,138	0,138
0,35	0,160	0,160	0,160
0,40	0,183	0,183	0,183
0,45	0,205	0,205	0,205
0,50	0,230	0,230	0,230
0,55	0,253	0,253	0,253
0,60	0,277	0,277	0,277
0,65	0,301	0,301	0,301
0,70	0,325	0,325	0,325
0,75	0,353	0,352	0,351
0,80	0,379	0,377	0,375
0,85	0,408	0,403	0,400
0,90	0,439	0,433	0,428
0,95	0,475	0,468	0,460
1,00	0,507	0,509	0,501

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

ТАБЛИЦЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СИЛ ПОДДЕРЖАНИЯ

I. Интегральные коэффициенты сил поддержания $A_{осп}$ приведены в табл. I, поправка к ним $a_{осп}$ в табл. 2.

2. Интегральные коэффициенты моментов сил поддержания $B_{осп}$ приведены в табл. 3, поправка к ним $b_{осп}$ в табл. 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Таблица I

Интегральные коэффициенты сил поддержания $A_{осп}$

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,40

$\frac{X}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$=0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0035	0,0040	0,0040	0,0060	0,0040
0,10	0,0180	0,0175	0,0210	0,0235	0,0275
0,15	0,0460	0,0450	0,0510	0,0570	0,0630
0,20	0,0915	0,0880	0,0965	0,1030	0,1090
0,25	0,1505	0,1410	0,1515	0,1590	0,1640
0,30	0,2165	0,2060	0,2175	0,2190	0,2240
0,35	0,2905	0,2785	0,2860	0,2840	0,2855
0,40	0,3700	0,3550	0,3550	0,3490	0,3480
0,45	0,4490	0,4325	0,4245	0,4150	0,4090
0,50	0,5305	0,5100	0,4945	0,4815	0,4710
0,55	0,6120	0,5879	0,5625	0,5490	0,5330
0,60	0,6910	0,6660	0,6320	0,6150	0,5950
0,65	0,7650	0,7410	0,7010	0,6820	0,5665
0,70	0,8220	0,8090	0,7685	0,7480	0,7185
0,75	0,8900	0,8725	0,8320	0,8115	0,7800
0,80	0,9340	0,9250	0,895	0,8700	0,8390
0,85	0,9675	0,9630	0,9380	0,9220	0,8940
0,90	0,9890	0,9860	0,9740	0,9610	0,9410
0,95	0,9990	0,9980	0,9955	0,9880	0,9850
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл.I

Относительная осадка $\bar{d}$ = 0,30					
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0035	0,0040	0,0040	0,0055	0,0045
0,10	0,0180	0,0175	0,0210	0,0235	0,0270
0,15	0,0460	0,0450	0,0510	0,0560	0,0620
0,20	0,0890	0,0880	0,0960	0,1020	0,1085
0,25	0,1445	0,1430	0,1525	0,1590	0,1640
0,30	0,2130	0,2080	0,2175	0,2200	0,2225
0,35	0,2885	0,2775	0,2860	0,2850	0,2850
0,40	0,3675	0,3535	0,3550	0,3490	0,3460
0,45	0,4470	0,4310	0,4245	0,4150	0,4080
0,50	0,5280	0,5070	0,4945	0,4815	0,4700
0,55	0,6080	0,5830	0,5630	0,5480	0,5320
0,60	0,6875	0,6610	0,6325	0,6140	0,5940
0,65	0,7615	0,7360	0,7025	0,6810	0,6560
0,70	0,8300	0,8055	0,7685	0,7460	0,7180
0,75	0,8880	0,8690	0,8325	0,8100	0,7790
0,80	0,9350	0,9215	0,8900	0,8690	0,8390
0,85	0,9690	0,9610	0,9385	0,9230	0,8945
0,90	0,9900	0,9860	0,9740	0,9620	0,9430
0,95	0,9990	0,9990	0,9955	0,9885	0,9850
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,60					
$\frac{x}{L}$	C_t =0,60	C_t =0,65	C_t =0,70	C_t =0,75	C_t =0,80
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0040	0,0040	0,0040	0,0050	0,0050
0,I0	0,0I90	0,0I90	0,02I0	0,0230	0,0270
0,I5	0,0465	0,0475	0,05I0	0,0560	0,0605
0,20	0,0895	0,09I0	0,0960	0,I020	0,I080
0,25	0,I435	0,I455	0,I530	0,I570	0,I630
0,30	0,2I00	0,2II0	0,2I65	0,2I85	0,2220
0,35	0,2850	0,28I0	0,2855	0,2840	0,2840
0,40	0,3645	0,3560	0,3550	0,3490	0,3455
0,45	0,4445	0,4305	0,4240	0,4I50	0,4070
0,50	0,5260	0,5070	0,4940	0,48I0	0,4695
0,55	0,6060	0,5825	0,5620	0,5470	0,53I5
0,60	0,6860	0,6590	0,6320	0,6I35	0,5940
0,65	0,76I0	0,7320	0,7020	0,6800	0,6560
0,70	0,8300	0,80I5	0,7700	0,7450	0,7I80
0,75	0,8875	0,8650	0,8340	0,8090	0,7790
0,80	0,9350	0,9I85	0,89I5	0,8680	0,8390
0,85	0,9690	0,9590	0,9395	0,9235	0,8955
0,90	0,9900	0,9850	0,9740	0,9630	0,9450
0,95	0,9985	0,9980	0,9955	0,9890	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,70					
$\frac{X}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b=0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0045	0,0045	0,0040	0,0040	0,0055
0,I0	0,0I95	0,02I0	0,02I0	0,0235	0,0265
0,I5	0,0480	0,0500	0,05I0	0,0550	0,0605
0,20	0,0900	0,0985	0,0965	0,I020	0,I070
0,25	0,I440	0,I490	0,I535	0,I565	0,I6I0
0,30	0,2I00	0,2I40	0,2I60	0,2I80	0,22[illegible]
0,35	0,2845	0,2840	0,2850	0,2840	0,2830
0,40	0,3650	0,3585	0,3535	0,3490	0,3450
0,45	0,4445	0,4320	0,4225	0,4I45	0,4065
0,50	0,5255	0,5070	0,4920	0,48I0	0,4860
0,55	0,6050	0,58I5	0,56I0	0,5465	0,53I0
0,60	0,6850	0,6560	0,63I0	0,6I25	0,5930
0,65	0,9600	0,7290	0,70I0	0,6790	0,6550
0,70	0,8285	0,7980	0,7700	0,7440	0,7I75
0,75	0,8865	0,86I5	0,8360	0,8080	0,7790
0,80	0,9350	0,9I55	0,8930	0,8680	0,8390
0,85	0,9680	0,9565	0,94I0	0,9240	0,8960
0,90	0,9880	0,9835	0,9755	0,9640	0,9460
0,95	0,9980	0,9980	0,9950	0,9895	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(Продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,80					
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0050	0,0050	0,0040	0,0050	0,0055
0,I0	0,02I0	0,0225	0,0220	0,0240	0,0265
0,I5	0,0490	0,0525	0,0525	0,0550	0,0600
0,20	0,0920	0,0970	0,0970	0,I020	0,I070
0,25	0,I460	0,I520	0,I535	0,I570	0,I600
0,30	0,2II5	0,2I70	0,2I60	0,2I80	0,22I0
0,35	0,2860	0,2870	0,2840	0,2840	0,2820
0,40	0,3650	0,3605	0,3530	0,3490	0,3440
0,45	0,4445	0,4330	0,4220	0,4I40	0,4060
0,50	0,5250	0,5070	0,49I5	0,4805	0,4860
0,55	0,6050	0,5800	0,56I0	0,5460	0,5305
0,60	0,6845	0,6530	0,63I0	0,6II0	0,5925
0,65	0,7580	0,7250	0,7005	0,6780	0,6545
0,70	0,8270	0,7955	0,7690	0,7430	0,7I65
0,75	0,8850	0,8595	0,8350	0,8070	0,7790
0,80	0,9330	0,9I30	0,8940	0,8685	0,8400
0,85	0,9670	0,9550	0,9420	0,9250	0,8970
0,90	0,9870	0,9825	0,9755	0,9650	0,9470
0,95	0,9975	0,9975	0,9950	0,9900	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,90					
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0060	0,0060	0,0050	0,0060	0,0060
0,10	0,0220	0,0245	0,0235	0,0240	0,0265
0,15	0,0510	0,0545	0,0550	0,0560	0,0600
0,20	0,0945	0,1000	0,0990	0,1020	0,1070
0,25	0,1490	0,1550	0,1540	0,1570	0,1600
0,30	0,2150	0,2200	0,2155	0,2180	0,2200
0,35	0,2870	0,2880	0,2830	0,2835	0,2810
0,40	0,3650	0,3615	0,3520	0,3490	0,3430
0,45	0,4445	0,4340	0,4210	0,4140	0,4050
0,50	0,5240	0,5070	0,4910	0,4800	0,4670
0,55	0,6040	0,5800	0,5595	0,5460	0,5300
0,60	0,6840	0,6515	0,6300	0,6105	0,5920
0,65	0,7575	0,7240	0,6990	0,7665	0,6540
0,70	0,8250	0,7940	0,7680	0,7420	0,7160
0,75	0,8830	0,8570	0,8340	0,8065	0,7790
0,80	0,9310	0,9130	0,8935	0,8690	0,8410
0,85	0,9655	0,9545	0,9420	0,9250	0,8985
0,90	0,9860	0,9820	0,9755	0,9650	0,9480
0,95	0,9960	0,9965	0,9950	0,9900	0,9850
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,00					
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0070	0,0070	0,0065	0,0065	0,0060
0,I0	0,0255	0,0270	0,0250	0,0250	0,0280
0,I5	0,0555	0,0580	0,0565	0,0565	0,06I0
0,20	0,I0I0	0,I025	0,I0I0	0,I020	0,I070
0,25	0,I540	0,I580	0,I540	0,I570	0,I590
0,30	0,2I70	0,2200	0,2I55	0,2I80	0,2I90
0,35	0,2890	0,2890	0,2825	0,2830	0,2805
0,40	0,3650	0,36I0	0,35I0	0,3480	0,3430
0,45	0,4440	0,4340	0,4200	0,4I35	0,4050
0,50	0,5230	0,5060	0,4900	0,4800	0,4670
0,55	0,6020	0,5780	0,5590	0,5445	0,5290
0,60	0,68I5	0,65I0	0,6280	0,6I00	0,5920
0,65	0,7550	0,7230	0,6980	0,6750	0,6540
0,70	0,8230	0,7935	0,7665	0,74I0	0,7I60
0,75	0,88I0	0,8570	0,8330	0,8060	0,7790
0,80	0,9280	0,9I30	0,8925	0,8690	0,84I5
0,85	0,9630	0,9550	0,9420	0,9250	0,8990
0,90	0,9850	0,9820	0,9760	0,9650	0,9490
0,95	0,9960	0,9960	0,9950	0,9900	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,I0					
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0I00	0,0I00	0,0085	0,0080	0,0080
0,I0	0,0290	0,0290	0,0280	0,0260	0,0295
0,I5	0,0595	0,06I0	0,0590	0,0570	0,06I5
0,20	0,II05	0,I050	0,I0I5	0,I025	0,I065
0,25	0,I580	0,I590	0,I545	0,I570	0,I590
0,30	0,22I0	0,22I0	0,2I50	0,2I80	0,2I80
0,35	0,29I0	0,2880	0,28I0	0,2825	0,2800
0,40	0,3650	0,3590	0,3490	0,3480	0,3420
0,45	0,4430	0,4320	0,4I80	0,4I30	0,4040
0,50	0,52I5	0,5045	0,4880	0,4790	0,4660
0,55	0,5995	0,5775	0,5570	0,5440	0,5285
0,60	0,6780	0,6500	0,6270	0,6090	0,59I0
0,65	0,75I5	0,7220	0,6970	0,6740	0,6540
0,70	0,8200	0,7920	0,7650	0,7400	0,7I60
0,75	0,8780	0,8560	0,83I0	0,8060	0,7990
0,80	0,9250	0,9I20	0,89I0	0,8690	0,8420
0,85	0,96I0	0,9540	0,9905	0,9250	0,9000
0,90	0,9840	0,98I5	0,9740	0,9650	0,9500
0,95	0,9960	0,9950	0,9950	0,9900	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. I

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,20

$\frac{x}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0I25	0,0I25	0,0I00	0,0085	0,0I00
0,I0	0,0335	0,0320	0,0300	0,0275	0,0300
0,I5	0,0640	0,0630	0,0605	0,0580	0,0620
0,20	0,I095	0,I060	0,I030	0,I030	0,I065
0,25	0,I6I5	0,I600	0,I550	0,I570	0,I585
0,30	0,2240	0,22I0	0,2I45	0,2I80	0,2I70
0,35	0,2920	0,2870	0,2790	0,2825	0,2790
0,40	0,3650	0,3570	0,34?0	0,3480	0,34I0
0,45	0,4425	0,4285	0,4I65	0,4I25	0,4035
0,50	0,5200	0,50I0	0,4865	0,4785	0,4660
0,55	0,5965	0,5745	0,5555	0,5440	0,5275
0,60	0,6730	0,6480	0,6250	0,6080	0,5905
0,65	0,7480	0,7I90	0,6950	0,6730	0,6525
0,70	0,8I60	0,7900	0,7640	0,7390	0,7I50
0,75	0,8750	0,8535	0,83I0	0,8050	0,7780
0,80	0,9220	0,9I00	0,8900	0,8690	0,8420
0,85	0,9585	0,9525	0,9390	0,9250	0,90I0
0,90	0,9830	0,9800	0,9730	0,9650	0,95I0
0,95	0,9960	0,9950	0,9940	0,9900	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл.I

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,30					
$\frac{x}{L}$	C_B =0,60	C_B =0,65	C_B =0,70	C_B=0,75	C_B =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0I50	0,0I50	0,0I25	0,0090	0,0I20
0,I0	0,0360	0,0350	0,0330	0,0280	0,0320
0,I5	0,0690	0,0660	0,0640	0,0590	0,0630
0,20	0,II35	0,I095	0,I065	0,I030	0,I065
0,25	0,I660	0,I6I0	0,I550	0,I570	0,I580
0,30	0,2270	0,22I0	0,2I25	0,2I80	0,2I60
0,35	0,2930	0,2850	0,2760	0,2825	0,2780
0,40	0,3660	0,3530	0,3430	0,3480	0,3400
0,45	0,4420	0,4250	0,4I30	0,4I20	0,4030
0,50	0,5I70	0,4970	0,4835	0,4780	0,4655
0,55	0,5940	0,5686	0,5530	0,5430	0,5275
0,60	0,6690	0,6405	0,6230	0,6070	0,5905
0,65	0,7440	0,7II5	0,6930	0,6720	0,6525
0,70	0,8I25	0,7835	0,7625	0,7380	0,7I45
0,75	0,87I5	0,8495	0,8290	0,8030	0,7780
0,80	0,9I90	0,9040	0,8825	0,8670	0,8420
0,85	0,9560	0,9485	0,9370	0,9250	0,90I5
0,90	0,98I0	0,9780	0,97I5	0,9650	0,9520
0,95	0,9960	0,9950	0,9930	0,9900	0,9850
I,00	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000	I,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Таблица 2

Поправка $C_{осп}$ к интегральным коэффициентам сил поддержания

$\frac{x}{l}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,055	0,060	0,070	0,085	0,I05
0,I0	0,205	0,220	0,245	0,295	0,335
0,20	0,695	0,750	0,835	0,925	I,045
0,25	0,995	I,050	I,I35	I,225	I,3I0
0,30	I,285	I,3I0	I,400	I,440	I,4I0
0,35	I,565	I,585	I,585	I,520	I,4I0
0,40	I,795	I,740	I,650	I,520	I,4I0
0,45	I,940	I,800	I,650	I,520	I,4I0
0,50	I,990	I,800	I,650	I,520	I,4I0
0,55	I,940	I,800	I,650	I,520	I,4I0
0,60	I,785	I,740	I,650	I,520	I,4I0
0,65	I,550	I,580	I,580	I,520	I,4I0
0,70	I,285	I,325	I,395	I,440	I,4I0
0,75	I,00	I,055	I,I30	I,220	I,305
0,80	0,700	0,755	0,825	0,925	I,040
0,85	0,435	0,470	0,5I5	0,595	0,7I5
0,90	0,205	0,220	0,250	0,290	0,355
0,95	0,055	0,065	0,070	0,085	0,I05
I,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Таблица 3

Интегральные коэффициенты моментов сил поддержания $B_{осп}$

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,40

$\frac{x}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0360	0,0370	0,0375	0,0345	0,0375
0,I5	0,0495	0,050I	0,05I0	0,0480	0,0520
0,20	0,0640	0,0660	0,0660	0,0645	0,0675
0,25	0,0795	0,08I5	0,08I0	0,0825	0,0855
0,30	0,0965	0,0990	0,I000	0,I025	0,I055
0,35	0,II45	0,II80	0,I200	0,I240	0,I270
0,40	0,I330	0,I390	0,I4I0	0,I460	0,I500
0,45	0,I535	0,I6I0	0,I640	0,I690	0,I730
0,50	0,I750	0,I845	0,I880	0,I930	0,I970
0,55	0,I980	0,208C	0,2I30	0,2I70	0,22I0
0,60	0,2220	0,2330	0,2370	0,24I0	0,2450
0,65	0,2480	0,2600	0,2620	0,2650	0,2695
0,70	0,2750	0,2890	0,2880	0,2890	0,2940
0,75	0,3055	0,3I90	0,3I40	0,3I45	0,3I95
0,80	0,34I0	0,3500	0,34I0	0,34I0	0,3455
0,85	0,3785	0,3830	0,37I0	0,3690	0,3735
0,90	0,4200	0,4200	0,4060	0,4030	0,4035
0,95	0,4665	0,4600	0,4490	0,4420	0,4390
I,00	0,5I55	0,5050	0,4950	0,4860	0,4790

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,50					
$\frac{x}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0350	0,0290	0,0350	0,0350	0,0375
0,I5	0,0485	0,0470	0,0485	0,0490	0,05I5
0,20	0,0635	0,0630	0,0640	0,0650	0,0675
0,25	0,0795	0,080	0,08I0	0,0830	0,0860
0,30	0,0965	0,0980	0,I0I0	0,I030	0,I060
0,35	0,II45	0,II80	0,I205	0,I240	0,I270
0,40	0,I335	0,I385	0,I4I5	0,I460	0,I500
0,45	0,I540	0,I600	0,I640	0,I690	0,I730
0,50	0,I755	0,I325	0,I870	0,I920	0,I970
0,55	0,I985	0,2055	0,2II0	0,2I60	0,22I0
0,60	0,2225	0,2300	0,2350	0,2400	0,2450
0,65	0,2485	0,2550	0,2600	0,2640	0,2690
0,70	0,2750	0,28I0	0,2855	0,2890	0,2930
0,75	0,3060	0,3I00	0,3II0	0,3I40	0,3I85
0,80	0,3405	0,3420	0,3385	0,34I0	0,3445
0,85	0,3780	0,3760	0,3700	0,3690	0,3720
0,90	0,4200	0,4I40	0,4060	0,4025	0,4020
0,95	0,4665	0,4580	0,4475	0,44I0	0,4375
I,00	0,5I60	0,5050	0,4950	0,4860	0,4785

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,60

$\frac{x}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,10	0,0350	0,0320	0,0330	0,0350	0,0375
0,15	0,0480	0,0460	0,0475	0,0490	0,0515
0,20	0,0630	0,0615	0,0640	0,0650	0,0675
0,25	0,0795	0,0795	0,0815	0, 0840	0,0850
0,30	0,0970	0,0980	0,1030	0,1030	0,1060
0,35	0,1145	0,1175	0,1205	0,1245	0,1270
0,40	0,1335	0,1385	0,1415	0,1460	0,1500
0,45	0,1540	0,1600	0,1640	0,1690	0,1730
0,50	0,1755	0,1820	0,1865	0,1915	0,1970
0,55	0,1990	0,2055	0,2100	0,2150	0,2210
0,60	0,2230	0,2290	0,2340	0,2390	0,2450
0,65	0,2490	0,2540	0,2585	0,2635	0,2690
0,70	0,2750	0,2795	0,2830	0,2880	0,2930
0,75	0,3060	0,3070	0,3090	0,3130	0,3180
0,80	0,3405	0,3380	0,3370	0,3395	0,3440
0,85	0,3780	0,3720	0,3700	0,3690	0,3715
0,90	0,4200	0,4120	0,4060	0,4020	0,4010
0,95	0,4665	0,4575	0,4470	0,4410	0,4365
1,00	0,5160	0,5050	0,4950	0,4850	0;4780

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,70

$\frac{X}{L}$	C_δ =0,60	C_δ =0,65	C_δ=0,70	C_δ =0,75	C_δ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0355	0,0355	0,0340	0,0360	0,0375
0,I5	0,0495	0,0470	0,0480	0,0495	0,0520
0,20	0,0640	0,0625	0,0650	0,0660	0,0675
0,25	0,0800	0,0800	0,0820	0,0840	0,0855
0,30	0,0970	0,0990	0,I0I0	0,I035	0,I065
0,35	0,II50	0,II90	0,I2I0	0,I245	0,I280
0,40	0,I340	0,I400	0,I4I5	0,I460	0,I500
0,45	0,I550	0,I6I0	0,I640	0,I690	0,I735
0,50	0,I770	0,I830	0,I870	0,I9I5	0,I970
0,55	0,2065	0,2060	0,2I00	0,2I50	0,22I0
0,60	0,2245	0,2300	0,2330	0,2395	0,2450
0,65	0,2500	0,2550	0,2580	0,2640	0,2700
0,70	0,2770	0,28I0	0,2825	0,2880	0,2930
0,75	0,3070	0,3080	0,3080	0,3I25	0,3I80
0,80	0,3405	0,3390	0,3370	0,3390	0,3435
0,85	0,3780	0,3730	0,3700	0,3680	0,3700
0,90	0,4200	0,4I30	0,4050	0,4020	0,4000
0,95	0,4665	0,4575	0,4460	0,4400	0,4355
I,00	0,5I60	0,5050	0,4950	0,4850	0,4770

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =0,80

$\frac{x}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0370	0,0350	0,0350	0,0360	0,0375
0,I5	0,05I0	0,0490	0,0500	0,0500	0,0520
0,20	0,0665	0,0650	0,0665	0,0660	0,0675
0,25	0,0820	0,0820	0,0840	0,0845	0,0860
0,30	0,0995	0,I005	0,I020	0,I040	0,I065
0,35	0,II75	0,I205	0,I220	0,I250	0,I275
0,40	0,I365	0,I405	0,I430	0,I470	0,I500
0,45	0,I570	0,I620	0,I650	0,I690	0,I740
0,50	0,I795	0,I850	0,I880	0,I920	0,I975
0,55	0,2055	0,2070	0,2II0	0,2I60	0,22I0
0,60	0,2260	0,23I5	0,2340	0,2400	0,2450
0,65	0,25I5	0,2565	0,2585	0,2640	0,2700
0,70	0,2785	0,28I5	0,2830	0,2880	0,2930
0,75	0,3075	0,3090	0,3080	0,3I25	0,3I80
0 ,80	0,3405	0,3400	0,3370	0,3390	0,3430
0,85	0,3775	0,3785	0,3700	0,3670	0,3700
0,90	0,4I90	0,4I35	0,4050	0,4005	0,3990
0,95	0,4655	0,4580	0,4665	0,4400	0,4340
I,00	0,5I50	0,5050	0,4950	0,4850	0,4770

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

	Относительная осадка $\bar{d}$ =0,90				
$\frac{X}{L}$	$C_б$ =0,60	$C_б$ =0,65	$C_б$ =0,70	$C_б$ =0,75	$C_б$ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,10	0,0380	0,0360	0,0360	0,0360	0,0370
0,15	0,0525	0,0510	0,0501	0,0510	0,0520
0,20	0,0690	0,0670	0,0680	0,0670	0,0675
0,25	0,0850	0,0850	0,0850	0;0855	0,0870
0,30	0,1035	0,1030	0,1040	0,1050	0,1070
0,35	0,1205	0,1220	0,1235	0,1260	0,1285
0,40	0,1400	0,1420	0,1445	0,1475	0,1500
0,45	0,1605	0,1635	0,1665	0,1700	0,1740
0,50	0,1815	0,1860	0,1890	0,1930	0,1975
0,55	0,2050	0,2090	0,2120	0,2160	0,2210
0,60	0,2280	0,2330	0,2355	0,2400	0,2450
0,65	0,2525	0,2580	0,2600	0,2640	0,2700
0,70	0,2785	0,2820	0,2840	0,2880	0,2930
0,75	0,3080	0,3100	0,3090	0,3125	0,3180
0,80	0,3410	0,3400	0,3370	0,3390	0,3425
0,85	0,3770	0,3730	0,3700	0,3670	0,3700
0,90	0,4190	0,4140	0,4060	0,4000	0,3980
0,95	0,4650	0,4580	0,4470	0,4400	0,4330
1,00	0,5150	0,5050	0,4950	0,4850	0,4760

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,00					
$\frac{X}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0400	0,0375	0,0370	0,0370	0,0375
0,I5	0,0550	0,0528	0,0503	0,05I5	0,0525
0,20	0,07I0	0 ,0690	0,0695	0,0680	0,0690
0,25	0,0870	0,0860	0,0870	0,0860	0,0880
0,30	0,I040	0,I045	0,I055	0,I055	0,I075
0,35	0,I230	0,I235	0,I250	0,I265	0,I285
0,40	0,I430	0,I440	0,I455	0,I480	0,I500
0,45	0,I630	0,I655	0,I670	0,I700	0,I730
0,50	0,I840	0,I875	0,I900	0,I930	0,I970
0,55	0,2065	0,2I00	0,2I30	0,2I60	0,22I0
0,60	0,2300	0,2340	0,2370	0,2400	0,2450
0,65	0,2545	0,2585	0,2605	0,2640	0,2690
0,70	0,2805	0,2835	0,2845	0,2880	0,2930
0,75	0,3I00	0,3I00	0,3095	0,3I25	0,3I70
0,80	0,3420	0,3405	0,3370	0,3390	0,3420
0,85	0,3790	0,3750	0,3695	0,3670	0,3690
0,90	0,4I90	0,4I50	0,4055	0,4000	0,3980
0,95	0,4645	0,4580	0,4480	0,4400	0,4325
I,00	0,5I50	0,5050	0,4950	0,4850	0,4750

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

	Относительная осадка $\bar{d}$ =I,I0				
$\frac{x}{L}$	C_b =0,60	C_b =0,65	C_b =0,70	C_b =0,75	C_b =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,0405	0,0390	0,0385	0,0380	0,0380
0,I5	0,0560	0,0545	0,0504	0,0525	0,0535
0,20	0,0725	0,07I0	0,07I0	0,0690	0,0700
0,25	0,0895	0,0885	0,0890	0,0870	0,0885
0,30	0,I065	0,I065	0,I075	0,I070	0,I080
0,35	0,I250	0,I260	0,I265	0,I275	0,I285
0,40	0,I445	0,I460	0,I470	0,I490	0,I505
0,45	0,I650	0,I670	0,I680	0,I7I0	0,I730
0,50	0,I870	0,I890	0,I9I0	0,I930	0,I970
0,55	0,2090	0,2I20	0,2I40	0,2I65	0,22I0
0,60	0,2320	0,2355	0,2370	0,2400	0,2450
0,65	0,2570	0,2600	0,26I0	0,2640	0,2690
0,70	0,2830	0,2850	0,2850	0,2880	0,2930
0,75	0,3I20	0,3II5	0,3I00	0,3I30	0,3I70
0,80	0,3440	0,34I5	0,3375	0,3390	0,3420
0,85	0,38I0	0,3755	0,3695	0,3670	0,3685
0,90	0,4200	0,4I50	0,4055	0,4000	0,3935
0,95	0,4650	0,4580	0,4480	0,4400	0,43I0
I,00	0,5I40	0,5050	0,4950	0,4850	0,4740

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =I,20					
$\frac{x}{L}$	C_B =0,60	C_B =0,65	C_B =0,70	C_B =0,75	C_B =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,I0	0,04I0	0,04I0	0,0400	0,0380	0,0385
0,I5	0,0580	0,0560	0,0505	0,0530	0,0540
0,20	0,0470	0,0725	0,0725	0,0690	0,07I0
0,25	0,09I0	0,0900	0,0905	0,0880	0,0890
0,30	0,I085	0,I080	0,I085	0,I070	0,I090
0,35	0,I270	0,I270	0,I280	0,I280	0,I290
0,40	0,I470	0,I470	0,I480	0,I500	0,I505
0,45	0,I680	0,I685	0,I690	0,I720	0,I730
0,50	0,I890	0,I905	0,I9I5	0,I940	0,I970
0,55	0,2II0	0,2I35	0,2I40	0,2I70	0,2200
0,60	0,2340	0,2365	0,2370	0,24I0	0,2450
0,65	0,2590	0,26I0	0,26I0	0,2640	0,2690
0,70	0,2850	0,2800	0,2850	0,2890	0,2930
0,75	0,3I40	0,3I30	0,3I00	0,3I30	0,3I70
0,80	0,3460	0,3430	0,3375	0,3390	0,3420
0,85	0,3820	0,3770	0,3695	0,3670	0,3680
0,90	0,42I5	0,4I50	0,4060	0,4000	0,3965
0,95	0,4640	0,4580	0,4490	0,4390	0,4300
I,00	0,5I40	0,5050	0,4950	0,4850	0,4740

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Продолжение табл. 3

Относительная осадка $\bar{d}$ =1,30

$\frac{x}{L}$	C_δ =0,60	C_δ =0,65	C_δ =0,70	C_δ =0,75	C_δ =0,80
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
0,10	0,0420	0,0420	0,0415	0,0390	0,0390
0,15	0,0585	0,0580	0,0507	0,0540	0,0550
0,20	0,0755	0,0750	0,0740	0,0710	0,0720
0,25	0,0930	0,0920	0,0915	0,0885	0,0900
0,30	0,1110	0,1100	0,1100	0,1085	0,1090
0,35	0,1200	0,1290	0,1295	0,1290	0,1290
0,40	0,1490	0,1490	0,1495	0,1510	0,1510
0,45	0,1700	0,1698	0,1705	0,1730	0,1730
0,50	0,1910	0,1920	0,1925	0,1950	0,1970
0,55	0,2130	0,2150	0,2150	0,2180	0,2210
0,60	0,2360	0,2385	0,2380	0,2410	0,2450
0,65	0,2610	0,2620	0,2615	0,2640	0,2690
0,70	0,2880	0,2870	0,2855	0,2890	0,2930
0,75	0,3160	0,3140	0,3110	0,3130	0,3170
0,80	0,3470	0,3435	0,3380	0,3390	0,3415
0,85	0,3830	0,3770	0,3690	0,3670	0,3670
0,90	0,4220	0,4150	0,4065	0,4000	0,3960
0,95	0,4635	0,4580	0,4495	0,4390	0,4300
1,00	0,5140	0,5050	0,4950	0,4850	0,4740

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Таблица 4

Поправка $\beta_{осп}$ к интегральным коэффициентам моментов сил поддержания

$\frac{x}{l}$	C_β =0,60	C_β =0,65	C_β =0,70	C_β =0,75	C_β =0,80
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
0,10	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045
0,15	0,045	0,060	0,065	0,070	0,080
0,20	0,070	0,080	0,090	0,100	0,120
0,25	0,090	0,110	0,120	0,140	0,180
0,30	0,110	0,135	0,155	0,195	0,270
0,35	0,140	0,170	0,200	0,270	0,355
0,40	0,170	0,215	0,265	0,355	0,405
0,45	0,210	0,270	0,325	0,385	0,440
0,50	0,260	0,325	0,370	0,420	0,460
0,55	0,315	0,365	0,410	0,440	0,470
0,60	0,415	0,415	0,435	0,450	0,480
0,65	0,490	0,485	0,475	0,470	0,490
0,70	0,580	0,565	0,545	0,500	0,500
0,75	0,665	0,655	0,635	0,590	0,545
0,80	0,775	0,745	0,725	0,690	0,640
0,85	0,840	0,835	0,825	0,795	0,765
0,90	0,915	0,910	0,905	0,890	0,875
0,95	0,975	0,970	0,970	0,960	0,955
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ПЕРФОРАЦИИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГРАММЫ 'ACCISHIP'

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

I. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

I.I. Программа "*ACCISHIP*" предназначена для определения перерезывающих сил и изгибающих моментов, возникающих в корпусе судна на тихой воде. Программа позволяет учитывать аварийную ситуацию затопление отсеков, посадку на мель и т.п. Для подготовки исходной информации необходима следующая документация по судну:

паспортные данные (тип судна, главные размерения и т.д.),

чертеж общего расположения судна или иной чертеж, по которому можно определить расположение переборок, центры тяжести устройств и оборудования;

кривые элементов теоретического чертежа;

информация, связанная с изменением весовой нагрузки судна в связи с затоплением отсеков забортной водой, потерей оборудования и устройств и т.п.;

тип грунта, длина и ширина поверхности контакта при посадке судна на мель.

I.2. Программа "*ACCISHIP*" написана на алгоритмическом языке *FORTRAN* и ориентирована для работы на ЭЦВМ серии ЕС. Требуемый объём оперативной памяти ЭЦВМ не превышает 64К.

Для работы программы требуются следующие устройства:

резидентный пакет дисков, шт I

устройство ввода перфокарт, шт I

устройство вывода результатов расчёта (АЦПУ), шт I

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

2. ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

2.I. Носителем информации, подготовленной пользователем программы являются перфокарты. Использование для ввода исходных данных оператора *NAMELIST* требует соблюдения определенных правил при подготовке исходной информации.

Вся информация перфорируется на 80-ти колонных перфокартах. Массивы исходных данных вводятся списками. Одним списком можно ввести несколько массивов. Каждый список начинается с новой перфокарты. Первым символом списка должен быть пробел ␣ вторым символом – знак $, после которого следует имя списка, далее следует пробел ␣ , имя массива и символ присвоения = далее перфорируются данные, разделенные запятыми.

Если данные одного списка не помещаются на одной перфокарте, то их перфорация может быть продолжена на других перфокартах. При этом каждая последующая перфокарта начинается с пробела. Не допускается одну часть вводимого числа перфорировать на одной перфокарте, а вторую часть – на другой перфокарте, т.е. нельзя разрывать число при перфорации. Признаком конца списка служит символ.

В программе используются данные целого (*INTEGER*) и действительного (*REAL*) типов. Признаком типа вводимой информации служит имя массива. Если имя массива начинается с одной из букв *I* , *J* , *K* , *L* , *M* , *N* , то указанные массивы содержат данные целого типа, в противном случае массив индентифицирует данные действительного типа. В действительных числах целая часть от дробной отделяется точкой.

Бесформатный ввод данных по оператору *NAMELIST* предоставляет в распоряжение пользователя ряд полезных возможностей :

если *n* последующих констант имеют одинаковое значение, то они могут быть отперфорированы в виде *n** константа. Например, если отперфорировать 5* 4,2, то это эквивалентно следующей перформации 4.2, 4.2, 4.2, 4.2, 4.2;

имеется возможность произвольной корректировки ошибок в подготовленной информации, корректировка допущенных ошибок производится путем добавления в конец массива правильных значений констант с указанием их порядкового номера в массиве.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

Пример: необходимо подготовить на перфокартах два массива

I,3,4,5,6,25,30,47 – массив целых чисел;

0.3-0.8,I.2,I.2,I.2,2.7 – массив действительных чисел

Первый массив имеет имя MZ и вводится списком под именем KUKU, второй массив имеет имя Z и вводится списком AU

Правильно подготовленная информация имеет вид:

```
 ␣ & KUKU ␣ MZ =
 ␣ I,3,4,5,6,25,30,47,
 ␣ & END
 ␣ AU ␣ Z =
␣ 0,3-0.8,3 * I.2,2.7
 ␣ & END
```

Пример: допустим, что в приведенном выше примере третьей константе в массиве MZ должно быть присвоено значение – 5, а в массиве Z первой константе должно быть присвоено значение 0.5. Правильно подготовленная информация имеет вид:

```
␣ & KUKU ␣ MZ =
␣ I,3,4,5,6,25,30,47
 ␣ MZ (4)=-5
 ␣ & END
 ␣ & AU ␣ Z
 ␣ 0.3-0.8    3 * I,2,2.7
   ␣ Z(1) =0,5
  ␣ & END
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ПЕРФОРАЦИИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

3.I. Вспомогательная (учётная) информация. Вспомогательная информация состоит из двух перфокарт:

карта с шифром решаемой задачи (название судна, дата расчёта, организация, выполнившая расчёт);

карта с информацией о составителе исходных данных (фамилия составителя, отдел, должность).

Информация на перечисленных картах перфорируется, начиная с первой колонки.

3.2. Порядок следования массивов исходной информации в пакете перфокарт приведен в табл. I.

3.2.I. Массив управляющих констант. Массив управляющих констант включает семь констант:

тип судна ITC

$ITC =$ { I - сухогрузное судно для перевозок генеральных грузов; 2 - танкер; 3 - рудовоз

тип машинной установки $ITMY$

Таблица I

Порядок следования массивов исходных данных

Номер массива	Наименование массива	Имя списка	Имя массива	Тип массива
I	Массив управляющих констант			
2	Массив основных характеристик судна			
3	Массив нагрузок, входящих в дедвейт			

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

$ITMU=$ { 1 – дизельная установка; 2 – турбина; 3 – дизель-электрическая установка;

тип расположения ($ITPMU$) машинной установки

$ITMU=$ { 1 – среднее или промежуточное расположение МКО; 2 – кормовое расположение МКО;

признак наличия короткой средней надстройки $INKSN$ ($\ell \approx 0{,}08\,L$) кроме надстройки над МКО,

$INKSN=$ { 0 – отсутствует короткая надстройка; 1 – имеется короткая надстройка;

признак наличия юта $INJU$

$INJU=$ { 0 – ют отсутствует; 1 – ют имеется;

признак наличия бака INB

$INB=$ { 0 – бак отсутствует; 1 – имеется короткий бак ($\ell \cong 0{,}1\,L$); 2 – имеется длинный бак ($\ell \cong 0{,}2\,L$);

число составляющих грузов и запасов на судне $INOW$

Примечание. Значение константы $INDW$ равно числу составляющих дедвейта (группировку грузов и запасов, входящих в дедвейт, рекомендуется выполнять по трюмам и танкам, вместимость и положение центров тяжести которых можно определить по эпюре вместимости или по грузовому журналу).

3.2.2. Массив основных характеристик судна. Массив основных характеристик судна включает 24 константы:

1. Длина судна между перпендикулярами, м.....DL
2. Ширина судна, м.....B
3. Высота борта, м.....H
4. Осадка по летнюю грузовую ватерлинию, м.....T
5. Водоизмещение по летнюю грузовую ватерлинию, т.....D

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

6. Водоизмещение в момент перед аварией, т.....DA
7. Средняя аварийная осадка (на мидель-шпанг-оуте), м.....TA
8. Аварийная осадка носом, м.....THA
9. Аварийная осадка кормой, м.....TKA
10. Объёмное водоизмещение при аварийных осадках, т.....VA
11. Абсцисса центра величины при средней аварийной осадке, м .....XCPK
12. Коэффициент полноты средней аварийной ватерлинии (при TA).....ALFA
13. Мощность силовой установки, лс.....EN
14. Диаметр гребного винта, м.....DB
15. Диаметр гребного вала, м.....DGB
16. Длина гребного вала, м.....DLGB
17. Абсцисса центра тяжести МКО, м.....XMKO
18. Абсцисса центра тяжести ют а, м.....XJU
19. Абсцисса центра тяжести короткой средней надстройки, м.....XKCH
20. Абсцисса центра тяжести бака, м.....XB
21. Абсцисса центра тяжести надстройки над МКО, м.....XHMKO
22. Абсцисса центра тяжести гребного вала, м.....XGB
23. Вес снятого (добавленного) груза в результате аварии, т.....AP
24. Абсцисса центра тяжести снятого (добавленного) груза AP, м.....XAP

Примечания: 1. Характеристики DL, B, H, T, D, EN, DB, DGB определяются по паспортным данным судна.

2. Водоизмещение в момент перед аварией DA вычисляется путем вычитания из водоизмещения судна при выходе из послед - него порта израсходованных запасов.

3. Аварийные осадки TA, THA, TKA замеряются на месте аварии.

4. Величины VA, XCPK, и ALFA определяются по кривым элементам теоретического чертежа при средней аварийной осадке TA.

5. Абсциссы центров тяжести оборудования и устройств определяются с учётом рекомендаций раздела I настоящего отчёта

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

и отсчитываются от мидель-шангоута (в нос - положительные, в корму - отрицательные).

3.2.3. Массив нагрузок, входящих в дедвейт. Числа данного массива представляют собой величины сил веса грузов и запасов, входящих в дедвейт, а абсциссы их центров тяжести (точек приложения), отсчитываемые от мидель-шангоута (положительные - в нос, отрицательные - в корму). Сначала последовательно перфорируются силы веса, затем в той же последовательности значения абсцисс точек приложения сил. Например, статьи нагрузки, определяющие дедвейт некоторого судна, характеризуются силами P_1 =1200 т, P_2 =950 т, P_3 =1000 т, P_4 =520 т и абсциссами их точек приложения x_1 =-67,5 м, x_2=-3,4 м, x_3 =2,1 м, x_4=61,2 м. Правильно подготовленная информация о рассматриваемом массиве имеет вид

```
␣ &NCCX ␣ CCX=
␣ 1200.0, 950.0, 1000.0, 520.0,
  ␣ -67,5, -3,4,2.1, 61.2
␣ &END
```

Массив нагрузок, входящих в дедвейт, имеет размеры, позволяющие ввести в память машины не более 100 сосредоточенных сил и соответственно не более 100 абсцисс их точек приложения.

3.3. Вызов программы. Массивы исходной информации следуют непосредственно за картами

```
// ␣ JOB ␣ SHIP
// ␣ EXEC ␣ ACCISHIP
```

Заключают пакет перфокарт исходной информации две карты

```
/*
/&
```

Перфорация информации, указанной на перечисленных в настоящем подразделе картах, осуществляется, начиная с первой колонки.

3.4. Результаты расчётов. В результате работы программы ACCISHIP на устройство печати (АЦПУ) выводятся исходные данные (для проверки) и значения перерезывающих сил и изгибающих моментов для 20-ти сечений судна, совпадающих с теоретическими шангоутами.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ

I. Исходные данные по судну

I.I. Расчёты общей прочности выполнены по документации сухогрузного судна типа "Полтава" для условных аварийных случаев, рассматриваемых в "Методике...."

I.2. Главные размерения и основные характеристики:

Длина между перпендикулярами	$L_{пп}$	=I40,00 м
Длина максимальная	L_{max}	=I55,73 м
Ширина	B	= 20,60 м
Высота борта	D	= I2,30 м
Осадка носом	$d_н$	= 7,95 м
Осадка кормой	$d_к$	= 7,80 м
Коэффициент полноты водоизмещения	$C_б$	= 0,65 м
Теоретическая шпация	ΔL	= 7,00 м

I.3. Весовая нагрузка судна до аварии представлена в табл. I.

2. Распределение весовой нагрузки по теоретическим шпациям

2.I. Распределение весовой нагрузки судна порожнем и запасов по теоретическим шпациям произведено на основании имеющейся документации (весового журнала, таблица ёмкости отсеков). Распределение веса грузов в трюмах произведено с учётом длины трюма, его расположения по длине судна и показано на рис. I.

2.2. Распределение суммарной весовой нагрузки судна до аварии приведено в табл. 2. Распределение весовой нагрузки выполнено с учётом указаний подраздела I.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица I

Весовая нагрузка судна до аварии

Наименование разделов, групп, подгрупп, статей	Вес P, т	Плечо X, м	$M = PX$, т м	Примечание
Корпус с оборудованием				
I. Голый корпус	3760,0	-8,7	-32712	
2. Оборудование помещений	408,0	-I,4	- 57I	
3. Судовые устройства	378,0	4,7	I777	
4. Системы	I94,0	-I8,3	-3550	
5. Электрооборудование, связь, управление	II4,0	-37,2	-424I	
Итого: корпус с оборудованием	4854	- 8,I	-39297	
Энергетическая установка				
I. Главные машинные установки	535,0	- 46,5	-24878	
2. Трубопроводы машинно-котельной установки	I8,0	- 47,0	- 846	
3. Независимые вспомогательные установки	26,0	- 44,0	- II44	
4. Трубопроводы независимых вспомогательных установок	2,3	- 4I,5	- 95	
5. Вспомогательные трубопроводы	24,0	- 30,3	- 727	
6. Валопровод и движители	44,0	- 63,4	- 2790	
7. Посты управления механической установкой	I,9	- 3I,6	- 60	
8. Жидкие грузы	I2I,2	- 25,4	- 3078	
Итого: энергетическая установка	772,4	- 43,5	- 33618	
Запас водоизмещения	II0,0	- I6,0	- I760	
Итого: вес судна порожнем	5736,4	- I3,0	- 74675	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл. I

Наименование разделов, групп, подгрупп, статей	Вес P тс	Плечо x, м	$M = Px$ тс м	Примечание
Снабжение, провизия, экипаж				
I. Судовой состав с багажом	8,2	-49,5	-406	
2. Провизия и пресная вода	I0I,0	-4I,3	-4I7I	
3. Снабжение и инструмент	24,5	-2I,4	-524	
4. Расходные материалы	4,4	-26,5	-II7	
5. Топливо, вода, масло	0,I	-48,5	- 5	
Итого: снабжение, экипаж, провизия	I38,2	-37,8	-5223	
Топливо, вода, масло (I00%)				
Топливо	II20	- 9,6	-I0752	
Вода	70,0	-4I,9	- 2933	
Масло	27,0	- 5I,6	- I393	
Итого: топливо, вода, масло	I2I7	- I2,4	-I5078	
Грузы: трюм I	450	52,I	23445	
твиндек I	580	52,7	30566	
трюм 2	890	36,4	32396	
твиндек 2	890	36,9	3284I	
трюм 3	I040	I8,9	I9656	
твиндек 3	565	I9,7	III30	
трюм 4	I635	- 4,5	-7358	
твиндек 4	925	- 5,3	-4902	
трюм 5	9I5	- 27,3	-24980	
твиндек 5	585	- 27,6	-I6I46	
Рефрижераторный трюм	I00	- 6I,2	- 6I20	
Итого: грузы	8575	I0,6	90528	
Итого судно в грузу	I5666,2	-0,28	-4448	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

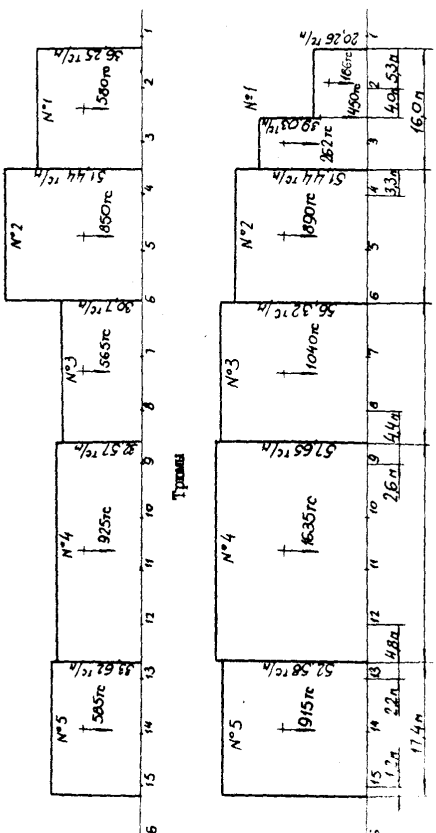


Рис. I

Распределение веса судна до аварии по теоретическим шпациям

Грузы: разделы, группы, подгруппы, статьи	Вес, тс	Теоретические шпации																			Суммы слева
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Корпус с оборудованием																						
1. Голый корпус	3760,0	132,9	99,6	145,6	160,7	155,7	163,2	165,7	183,4	171,4	199,9	176,6	159,0	197,8	152,2	196,7	290,4	304,6	229,5	191,6	289,0	
2. Оборудование помещений	408,0	3,6	14,8	16,2	17,5	17,4	18,2	22,5	26,9	27,6	34,5	32,8	26,3	17,9	27,5	28,2	27,4	15,2	11,3	6,8	15,4	
3. Судовые устройства	372,0	62,9	28,6	7,9	24,8	6,0	11,6	10,9	6,6	59,7	11,8	0,6	2,2	20,2	6,8	23,6	4,8	1,6	12,6	16,0	90,8	
4. Системы	194,0	1,2	2,3	5,6	12,0	4,0	5,0	5,8	5,8	7,8	6,9	8,7	8,8	8,9	7,7	13,2	29,0	20,2	18,5	14,6	8,0	
5. Электрооборудование, связь, управление	114,0	–	0,3	–	0,6	0,7	0,7	0,5	0,3	2,4	3,4	2,2	2,6	3,2	2,6	5,3	32,2	38,6	8,6	4,6	5,2	
Итого:	4854	200,6	145,6	175,3	215,6	181,8	198,7	205,4	223,0	268,9	256,0	220,9	198,9	248,0	196,8	267,0	383,8	377,2	280,5	201,6	408,4	
Энергетическая установка																						
1. Главные машинные установки	535,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,2	121,7	216,5	185,0	8,6	–	
2. Трубопроводы машинно-котельной установки	18,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–	0,5	4,2	6,2	4,1	2,9	–		
3. Независимые вспомогательные установки	26,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2	7,9	11,7	4,9	0,3	–		
4. Трубопроводы независимых вспомогательных установок	2,3	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,4	0,8	0,9	0,2	–	–		
5. Вспомогательные трубопроводы	24,0	–	–	–	–	–	–	0,6	0,7	1,1	0,6	0,7	0,7	0,8	2,6	3,1	5,1	5,1	2,9	0,5	–	
6. Валопровод и движитель	44,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	0,2	7,4	4,5	31,8	
7. Посты управления механической установкой	1,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,3	0,2	–	–	0,2	0,4	0,6	–	–	
8. Жидкие грузы	121,2	2,2	3,0	3,1	2,8	1,9	3,3	3,6	2,6	3,5	3,5	3,5	2,5	2,7	3,3	4,9	12,9	18,3	29,9	8,4	5,3	
Итого:	272,4	2,2	3,0	3,1	2,8	1,9	3,3	4,2	3,3	4,6	4,1	4,6	3,5	3,7	5,9	13,3	152,9	259,3	234,4	25,2	37,1	
Запас водоизмещения	110,0	1,4	1,7	2,2	2,8	3,4	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,5	7,5	8,5	8,6	8,8	8,8	8,8	5,5	
Итого: вес судна порожнём	5736,8	204,2	150,3	180,6	221,2	187,1	206,0	214,1	231,3	278,5	265,1	231,5	208,4	258,2	210,2	288,8	545,3	645,3	523,7	235,6	451,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл. 2

Грузы, разделы, группы, подгруппы, статьи	Вес, тс	Теоретические штации																				Суммы слева
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Снабжение, экипаж, провизия																						
1. Судовой состав с багажом	8,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	1,8	3,0	1,7	—	
2. Провизия и пресная вода	101,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58,9	42,1	—	—	—	
3. Снабжение, инструмент	24,5	—	1,7	2,8	1,2	—	—	—	—	—	0,3	0,1	—	—	—	6,0	3,7	1,8	1,3	2,8	2,8	
4. Расходные материалы	4,4	—	—	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	1,7	1,0	—	—	—	0,8	0,2	0,4	0,2	
5. Топливо, вода, масло	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	—	
Итого: снабжение, экипаж, провизия	138,2	—	1,7	2,8	1,3	—	—	—	—	—	0,3	0,1	1,7	1,0	—	6,0	64,3	46,5	4,6	4,9	3,0	
Топливо, вода, масло (100%)																						
Топливо	1120,0	—	—	—	—	—	—	77,0	80,3	103,6	125,0	149,1	140,0	124,9	110,0	110,0	32,0	10,8	—	57,9	—	
Вода	70,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	35	—	6,0	—	
Масло	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	63,9		
Итого: топливо, вода, масло	1217,0	—	—	—	—	—	—	77,0	80,3	103,6	125,0	149,1	140,0	124,9	110,0	110,0	67,0	45,8	21	—	—	
Грузы: в трюмах	4929,4	—	94,4	195,0	320,0	371,0	360,0	396,0	396,0	398,0	403,0	403,0	403,0	392,0	368,0	394,0	37,0	—	—	—	—	
в твиндеках	3544,6	—	169,0	272,0	291,0	373,0	360,0	215,0	215,0	220,0	228,0	228,0	228,0	230,0	235,0	259,0	17,0	—	—	—	—	
Итого: грузы	8474,0	—	263,4	472,0	611,0	744,0	720,0	611,0	611,0	618,0	631,0	631,0	631,0	622,0	603,0	653,0	54,0	—	—	—	—	
Рефрижераторный трюм	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77,0	23,0	
Суммы сверху	15666,2	204,2	415,4	654,9	833,2	930,9	926,2	901,6	922,6	1000	1021,3	1011,6	981,0	1006,3	923,6	1057,8	730,3	737,6	549,3	381,4	477,0	Σ_1
Множители	-	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5	-0,5	-1,5	-2,5	-3,5	-4,5	-5,5	-6,5	-7,5	-8,5	-9,5	
Произведения	-	1939,9	3531,0	4911,7	5415,7	5120,2	4167,7	3155,7	2305	1500	510,6	-505,8	-1471,5	-2515,9	-3232	-4760	-4017	-4794	-4119,7	-3241,9	-4531,5	Σ_2 -632,37

$$X_g = \frac{-632,37}{15666,2} \cdot 7 = -0,28$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

3. Расчёт нагрузки аварийного судна на плаву

3.I. Судно с нагрузкой, определенной в разделе 2 получило пробоину в трюме № 3. Трюм имеет прямоугольную форму с размерами: длина I8,4 м, ширина 20,6 м, отстояние центра тяжести объёма трюма от миделя, I8,9 м. Коэффициент проницаемости трюма μ =0,6. Осадка судна после аварии: носом $d_{н1}$ =9,8 м, кормой - $d_{к1}$ =7.6 м.

3.2. Определяется вес воды, влившейся в трюм, при осадке по аварийную ватерлинию. Этот вес равен $P_в$ =I793 тс, отстояние центра тяжести его от миделя I8,9 м.

3.3. Определяется весовая нагрузка и центр тяжести судна с учётом влившейся воды

$$\Delta_1 = 15666,0 + 1793,0 = 17459,0 \text{ тс}$$

$$X_{g_1} = \frac{15666\,(-0,28) + 1793 \cdot 18,9}{17459} = 1,69 \text{ м}$$

3.4. Определяются силы поддержания при осадке по аварийную ватерлинию по масштабу Бонжана в табл. 3. Получены данные:
γV_1 =I7500 тс X_{c1} =I,75 м

Так как $|\Delta_1 - \gamma V_1| = |17459 - 17500| = 41$ тс $< 0,005\Delta_0$

$$|X_{g_1} - X_{c1}| = |1,69 - 1,75| = 0,06 \text{ м} < 0,001L$$

дальнейших уточнений производить не требуется.

3.5. Вес воды в затопленных отсеках распределяется в пределах теоретических шпаций по длине трюма с учётом указаний подраздела I.3.

3.6. Расчёт нагрузки аварийного судна произведен в табл.4.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)
Таблица 3

Расчёт сил поддержания аварийного судна по теоретическим шпациям $d_н$=9,8, $d_к$=7,6

Номер шпангоута	Площадь шпангоута, $м^2$	Сумма граф 2 попарно	Силы поддержания на шпацию, тс	Факторы плеч	(4)·(5)
I	2	3	4	5	6
20	2,0				
		23,0	82,6	- 9,5	- 784,7
I9	2I,0				
		78,0	280,0	- 8,5	-2380,0
I8	67,0				
		I44,0	5I6,9	- 7,5	-3876,8
I7	87,0				
		I99,4	7I5,8	- 6,5	-4652,7
I6	II2,4				
		246,4	884,6	- 5,5	-4865,3
I5	I34,0				
		285,0	I023,2	- 4,5	-4604,4
I4	I5I,0				
		3I2,0	II20,I	- 3,5	-3920,4
I3	I6I,0				
		330,0	II84,7	- 2,5	-296I,8
I2	I69,0				
		343,0	I23I,4	- I,5	-I847,I
II	I74,0				
		35I,0	I260,I	- 0,5	- 630,05
I0	I77,0				
		356,0	I278,04	0,5	639,0
9	I79,0				
		358,0	I285,2	I,5	I927,8
8	I79,0				
		356,0	I278,04	2,5	3I95,I
7	I77,0				
		348,0	I249,3	3,5	4372,6
6	I7I,0				
		330,0	II84,7	4,5	533I,2
5	I59,0				
		296,0	I062,6	5,5	5844,3
4	I37,0				
		239,0	858,0	6,5	5577,0
3	I02,0				
		I64,0	588,8	7,5	44I6,0
2	62,0				
		89,0	3I9,5	8,5	27I5,8
I	27,0				
		27,0	96,9	9,5	920,6
0	0				
			Σ I7500,5		Σ 44I6,2

$$X_c = \frac{44I6,2}{I7500,5} \cdot 7 = I,75$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(продолжение)

Таблица 4

Расчёт нагрузки аварийного судна на плаву

Шпация	Весовая нагрузка судна до аварии, тс	Вес воды в затопленных отсеках, тс	Силы поддержания по аварийную ватерлинию, тс	Нагрузка на теоретическую шпацию, тс
I	2	3	4	5
20-I9	477,0	-	- 82,6	394,4
I9-I8	38I,4	-	-280,0	I0I,4
I8-I7	549,3	-	-5I6,9	32,4
I7-I6	737,6	-	-7I5,8	2I,8
I6-I5	730,4	-	-884,6	-I54,2
I5-I4	I057,9	-	-I023,2	34,7
I4-I3	923,6	-	-II20,I	-I96,5
I3-I2	I006,4	-	-II84,7	-I78,3
I2-II	98I,0	-	-I23I,4	-250,4
II-I0	I0II,6	-	-I260,I	-248,5
I0 -9	I02I,3	-	-I278,04	-256,74
9 - 8	I000,2	330,0	-I285,2	45,0
8 -7	922,I	78I,0	-I273,04	425,06
7 -6	90I,6	682,0	-I249,3	334,3
6 -5	926,2	-	-II84,7	-258,5
5 -4	930,9	-	-I062,6	-I3I,7
4 -3	833,2	-	- 858,0	- 24,8
3 -2	654,9	-	- 588,8	66,I
2 -I	4I5,4	-	- 3I9,5	95,9
I -0	204,2	-	- 96,9	I07,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

4. Расчёт нагрузки аварийного судна на мели

4.1. Судно с нагрузкой, определенной в разделе 2, село на мель и имеет осадку: носом d_{H1} =6,95 м и кормой d_{K1} =8,0 м. Трим № 3 затоплен (размеры трюма указаны в разделе 3).

4.2. Определяется вес воды, влившейся в трюм № 3 по уровень действующей ватерлинии

$$P_{воды} = 1{,}025 \cdot 18{,}4 \cdot 20{,}6 \cdot 6{,}03 \cdot 0{,}6 = 1406 \text{ тс}$$

6,03 м - средняя высота воды в трюме.

4.3. Определяется вес судна с водой в трюме и положение центра тяжести

$$P = 15666 + 1406 = 17072 \text{ тс}$$

$$x_{g_1} = \frac{15666\ (-0{,}28) + 1406 \cdot 18{,}9}{17072} = 1{,}3 \text{ м}$$

4.4. Используя масштаб Бонжана, определяется водоизмещение судна, сидящего на мели и положение центра величины. Получено:

Δ_1 =14747 тс $\quad x_{c1} = -1{,}82$ м

4.5. Определяется величина давления судна на грунт (опорная реакция) и положение ее равнодействующей по длине судна

$$N = 17072 - 14747 = 2325 \text{ тс}$$

$$x_N = \frac{P_{воды} x_{g_{воды}} + \Delta_0 x_{g_0} - \Delta_1 x_{c1}}{\Lambda} =$$

$$= \frac{1406 \cdot 18{,}9 + 15666(-0{,}28) - 14747(-1{,}82)}{2325} = 21{,}09 \text{ м}$$

Учитывая, что равнодействующая опорной реакции расположена почти на теоретическом шпангоуте, а длина опорной линии равна 28 м (по предполагаемым данным обследования), принимаем, что опорная реакция равномерно распределена в четырех теоретических шпациях

$$N_{5\text{-}6} = N_{6\text{-}7} = N_{7\text{-}8} = N_{8\text{-}9} = \frac{2325}{4} = 581 \text{ тс}$$

4.6. Расчёт нагрузки аварийного судна, сидящего на мели, выполнен в табл. 5.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица 5

Расчёт нагрузки судна на мели

Теоретическая шпация	Весовая нагрузка судна до аварии, тс	Вес воды в затопленных отсеках, тс	Весовое водоизмещение судна по расчётную ватерлинию, тс	Реакция грунта, тс	Нагрузка на теоретическую шпацию, тс
I	2	3	4	5	6
20-I9	477,0	-	-I04,I	-	372,9
I9-I8	38I,4	-	-294,4	-	87,0
I8-I7	549,3	-	-5I7,0	-	32,3
I7-I6	737,6	-	-696,5	-	4I,I
I6-I5	730,4	-	-840,I	-	-I09,7
I5-I4	I057,9	-	-954,9	-	I03,0
I4-I3	923,6	-	-I026,7	-	-I03,I
I3-I2	I006,4	-	-I062,6	-	- 56,2
I2-II	98I,0	-	-I037,8	-	-I06,8
II-I0	I0II,6	-	-I09I,4	-	- 79,8
I0- 9	I02I,3	-	-I080,6	-	- 59,3
9 - 8	7000,2	272,0	-I066,2	-58I,0	-375,0
8 - 7	922,I	600,0	-I033,9	-58I,0	- 92,8
7 - 6	90I,6	535,0	- 987,2	-58I,0	-I3I,6
6 - 5	926,2	-	- 908,3	-58I,0	-563,I
5 - 4	930,9	-	- 779,0	-	I5I,9
4 - 3	833,2	-	- 595,9	-	237,3
3 - 2	654,9	-	- 384,I	-	270,8
2 - I	4I5,4	-	- I93,9	-	22I,5
I - 0	204,2	-	- 43,I	-	I6I,I
Σ	I5666	I407	-I4747	-2324	≈ 0

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

5. Расчёт нагрузки судна при судоподъёме

5.1. Судно до затопления имело нагрузку и посадку, определенные в разделе I.

Судно затонуло на глубине 40 м и легло на грунт без крена и дифферента.

Грунт - крупный песок в кормовой части судна, и вязкая плотная глина с песком и ракушкой в носовой части судна.

Заглубление судна в грунт I,2 м по всей длине.

Перед подъёмом произведена полная разгрузка грузов из твиндеков.

Для подъёма предполагается использовать 400-тонные судоподъёмные понтоны, плавучие краны г/п 800 тс, вспененный полистирол.

5.2. Необходимо определить подъёмный и отрывной вес судна, величину и расположение подъёмных сил, распределение суммарной нагрузки по длине судна перед подъёмом и в период подъёма судна в толще воды.

5.3. Расчет подъёмного веса выполнен в табл. 6. При этом распределение веса по теоретическим шпациям принято по данным табл. 2 с учётом коэффициента веса в воде по различным разделам нагрузки.

5.4. Величина отрывного сопротивления и положение его равнодействующей определены следующим образом:

в табл. 7 вычислена площадь контакта судна с грунтом, при этом, ширина контакта по обводу каждого полушпангоута определяется по теоретическому чертежу, где наносится уровень заглубления судна в грунт;

распределение отрывного сопротивления по площади контакта с грунтом по теоретическим шпациям произведено в табл. 8, при этом приняты следующие коэффициенты силы присоса грунта:

K_0 =0,05 - для крупного песка (в кормовой части судна);

K_0 =0,25 - для вязкой плотной глины с песком и ракушкой (в носовой части судна).

Отрывное сопротивление определено по формуле

$$R_{отр} = K_{ср} \cdot P_{под},$$

где $P_{под}$ =6693,61 тс - подъёмный вес судна, по табл. 6.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)
Таблица 6

Расчёт подъёмного веса

Наименование составляющих подъёмного веса	Нагрузка, тс	Распределение веса по теоретическим ипподиям																			Сумма слева
		20-19	19-18	18-17	17-16	16-15	15-14	14-13	13-12	12-11	11-10	10-9	9-8	8-7	7-6	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Перед аварией																						
1 Корпус с оборудованием К-0,8	3883,2	326,7	161,28	224,4	301,76	307,0	213,6	157,4	198,4	159,1	176,7	204,8	215,1	178,4	164,3	158,96	145,4	132,48	140,2	116,48	160,48	
2 Энергетическая установка К-0,85	656,5	31,5	21,42	199,2	220,4	129,9	11,3	5,0	3,15	2,98	3,9	3,5	3,9	2,8	3,5	2,8	1,6	2,38	2,6	2,55	1,87	
3 Снабжение, провизия, запасы, К-0,9	60,1	1,5	2,45	2,3	23,2	32,15	3,0	–	0,5	0,85	0,05	0,15	–	–	–	–	–	0,65	1,4	0,85	–	
4 Топливо, вода, масло, К-0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
5 Запас водоизмещения К-0,8	88,0	4,4	7,04	7,04	7,04	6,88	6,8	6,0	5,2	4,8	4,8	4,0	4,0	4,0	3,6	3,2	2,72	2,24	1,76	1,36	1,12	
6 Грузы:																						
в трюмах К-0,4	1971,77	–	–	–	–	14,89	157,6	147,2	156,8	161,2	161,2	161,2	159,3	158,3	158,3	144,0	148,3	127,9	72,88	37,8	–	
в твиндеках К-0,9	1417,95	–	–	–	–	6,62	103,6	94,14	92,12	91,2	91,2	91,2	87,9	85,96	85,96	144,0	149,2	116,3	110,7	67,57	–	
Рефрижераторный трюм К-0,3	30,0	6,9	23,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Итого грузы	3419,8	6,9	23,1	–	–	21,51	261,2	241,3	248,9	252,4	252,4	252,4	247,2	244,2	244,2	288,0	297,5	244,2	183,6	105,3	–	
Снятые грузы (удаленный груз из твиндеков)	-1417,8	–	–	–	–	-6,62	-103,6	-94,14	-92,1	-91,2	-91,2	-91,2	-87,9	-85,9	-85,9	-144,0	-149,0	-116,3	-110,7	-67,6	–	
Суммы сверху	6698,6	371,1	215,3	432,98	552,5	490,9	392,3	315,7	364,0	328,7	346,6	373,6	382,4	343,5	329,7	309,0	298,1	305,7	223,9	159,0	163,5	
Множители	–	-9,5	-8,5	-7,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	-0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
Произведения		-3525	-1829,9	-3247	-3591	-2700	-1765,3	-1104,9	-910,1	-493,4	-173,3	186,8	573,6	858,7	1154,1	1390,5	1639,4	1986,9	1679,4	1351,8	1552,9	Σ=-6966,2

$$X_g = \frac{-6966,2}{6698,6} \cdot 7 = -7,28\ м$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица 7

Определение площади контакта с грунтом

Номера теоретических шпангоутов	Ширина контакта с грунтом по обводу полушпангоута	Суммы графы 2 попарно	Площадь контакта с грунтом (3)·$\Delta L = S_i$ м^2
I	2	3	4
20	-	$\frac{1,73}{2}$ =0,87	0,87·4 = 3,48
I9	I,73	4,75	33,25
I8	3,02	7,77	54,39
I7	4,75	I0,80	75,6
I6	6,05	I3,25	92,75
I5	7,2	I6,I3	II2,9I
I4	8,93	I8,72	I3I,04
I3	9,79	I9,87	I39,09
I2	I0,08	20,59	I44,I3
II	I0,5I	2I,3I	I49,I7
I0	I0,8	2I,3I	I49,I7
9	I0,5I	20,59	I44,I3
8	I0,08	I9,87	I39,09
7	9,79	I9,0I	I33,07
6	9,22	I7,28	I20.96
5	8,06	I4,4	I00,8
4	6,34	I0,66	74,62
3	4,32	7,20	50,4
2	2,88	4,6I	32,27
.I	I,73		
0	-	$\frac{I,73}{2}$=0,87	0,87·3,5=3;05
			$\sum$ I883,37

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)
Таблица 8

Распределение отрывного сопротивления по площади контакта с грунтом

Шпация	Площадь контакта с грунтом S_i, м^2	$S_i \cdot K_{oi}$	$R'_{отр} = S_i \cdot K_{oi} \cdot C$	Плечо площади относительно миделя, X_i, м	$S_i \cdot K_n \cdot C \cdot X_i$
I	2	3	4	5	6
20–I9	3,48	0,I7	0,62	- 64,3	- 39,87
I9–I8	33,25	I,66	6,04	- 59,5	-359,3
I8–I7	54,39	2,72	9,9	- 52,5	-5I9,75
I7–I6	75,6	3,78	I3,76	- 45,5	-626,08
I6–I5	92,75	4,64	I6,89	- 38,5	-650,27
I5–I4	II2,9I	5,65	20,57	- 3I,5	-647,96
I4–I3	I3I,04	6,55	23,84	- 24,5	-584,08
I3–I2	I39,09	6,95	25,3	- I7,5	-442,75
I2–II	I44,I3	7,2I	26,24	- I0,5	-275,52
II–I0	I49,I7	7,46	27,I5	- 3,5	- 95,03
I0–9	I49,I7	7,46	27,I5	3,5	95,03
9–8	72,0 72,0	3,6 I8,0	I3,I 65,52	9,3 II,6	I2I,83 760,03
8–7	I39,09	34,77	I26,56	I7,5	22I4,8
7–6	I33,07	33,27	I2I,I	24,5	2966,95
6–5	I20,96	30,24	II0,07	3I,5	3467,2I
5–4	I00,8	25,2	9I,73	38,5	353I,6I
4–3	74,62	I8,66	67,92	45,5	3090,36
3–2	50,4	I2,6	45,86	52,5	2407,65
2–I	32,27	8,07	29,37	59,5	I747,52
I–0	3,05	0,76	2,77	64,2	I77,83
	Σ I983,37	Σ239,42	Σ87I,46		Σ I6340,2I

$$C = \frac{R_{отр}}{\Sigma S_i \cdot K_{oi}} = \frac{870,82}{239,42} = 3,64 \qquad X_{отр} = \frac{S_i \cdot K_{oi} \cdot X_i}{R'_{отр}} = \frac{I6340,2I}{87I,46} = I8,75$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

$$K_{ср} = \frac{\sum S_i \cdot K_{oi}}{\sum S_i} = \frac{239,42}{1883,37} = 0,13$$ - осредненный коэффициент присоса,

$$R_{отр} = 0,13 \cdot 6698,61 = 870,82 \text{ тс}$$

$$X_{отр} = \frac{16340,21}{871,46} = 18,75 \text{ м}$$

5.5. Суммарная величина подъёмных сил и координата результирующей подъёмных сил определены из следующих равенств:

$$\sum Q = P_{под} + R_{отр}$$

$$\sum M(Q) = M(P_{под}) + M(R_{отр})$$

$$\sum Q = 6698,61 + 870,82 = 7569,43 \text{ тс}$$

$$\sum M(Q) = 6698,61(-7,28) + 870,82 \cdot 18,75 = -32438 \text{ тс м}$$

$$X_Q = \frac{-32438}{7869,43} = -4,29 \text{ м}$$

5.6. Полистирол предполагается распределить равномерно в твиндеках судна, поэтому равнодействующая подъёмной силы полистирола имеет координату

$$X_{пол} = 12,5 \text{ м}$$

Подъёмная сила полистирола определяется по формуле

$$Q_{пол} = d_{уд} \cdot \frac{m}{\gamma_{нас}}$$

$$m = 0,8 \cdot V_п \cdot \gamma_{нас}$$

$V_п = 6825 \text{ м}^3$ - объём всех твиндеков

$\gamma_{нас} = 0,07 \text{ т/м}^3$ - насыпная плотность полистирола

$$d_{уд} = \left[\rho_в \frac{\gamma_{нас}}{\rho}\left(1 - \frac{\Delta q}{100}\right) - \gamma_{нас}\right],$$

где $\rho = 0,1 \text{ т/м}^3$ - плотность гранул полистирола;

$\Delta q = 3\%$ - потеря подъёмной силы полистирола при $\gamma_{нас} = 0,07 \text{ т/м}^3$ и глубине закачки 40 м;

$$d_{уд} = \left[1,025 \cdot \frac{0,07}{0,1}\left(1 - \frac{3}{100}\right) - 0,07\right] = 0,625 \text{ т/м}^3$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

$Q_{пол} = 0{,}625 \cdot 0{,}8 \cdot 6825 = 3418$ тс

5.7. Предполагается, что для подъёма судна будут использованы два плавучих крана грузоподъёмностью по 800 тс, каждый из которых будет создавать подъёмное усилие $Q_{крана} = 720$ тс, приложенное соответственно к якорным клюзам с координатой $X = 66$ м и к яблоку ахтерштевня с координатой $X = -67$ м.

5.8. Суммарное подъёмное усилие, которое необходимо создать судоподъёмными понтонами, определяется из равенства

$$Q_{понт} = \sum Q - Q_{пол} - 2Q_{кран} =$$

$$= 7569{,}43 - 3418 - 2 \cdot 720 = 2711 \text{ тс}$$

Координата равнодействующей подъёмных сил понтонов определяется из равенства

$$M(Q_{пол}) + M(Q_{понт}) + M(Q_{кран}) = \sum M(Q)$$

$$Q_{пол} \cdot X_{пол} + Q_{понт} \cdot X_{понт} + Q_{крана} \cdot X_{крана} = \sum M(Q)$$

$$X_{понт} = \frac{7569(-4{,}29) - 3418 \cdot 12{,}5 - 720(-67) - 720 \cdot 66}{2711} = 27{,}47 \text{ м}.$$

На рис. 2 показана схема размещения стропов судоподъёмных понтонов.

Распределение подъёмных усилий стропов понтонов по теоретическим шпациям выполнено ниже

I-я пара понтонов

$$P_{8-9} = 339\left(0{,}5 - \frac{2{,}29}{7}\right) = 57{,}6 \text{ тс}$$

$$P_{9-10} = 339\left(0{,}5 + \frac{2{,}29}{7}\right) = 281{,}3 \text{ тс}$$

$$P_{10-11} = 339\left(0{,}5 + \frac{3{,}03}{7}\right) = 315{,}3 \text{ тс}$$

$$P_{11-12} = 339\left(0{,}5 - \frac{3{,}03}{7}\right) = 23{,}8 \text{ тс}$$

Схема размещения стропов судоподъемных понтонов

Рис.2

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(продолжение)

II-я пара понтонов

$$P_{11-12} = 339(0,5 - \frac{0,21}{7}) = 159,3 \text{ тс}$$

$$P_{12-13} = 339(0,5 + \frac{0,21}{7}) + 340(0,5 - \frac{1,47}{7}) = 278,0 \text{ тс}$$

$$P_{13-14} = 339(0,5 + \frac{1,47}{7}) = 240,7 \text{ тс}$$

III-я пара понтонов

$$P_{14-15} = 339(0,5 + \frac{2,71}{7}) = 301,7 \text{ тс}$$

$$P_{15-16} = 339(0,5 - \frac{2,71}{7}) + 340(0,5 + \frac{1,03}{7}) = 257,6 \text{ тс}$$

$$P_{16-17} = 339(0,5 - \frac{1,3}{7}) = 118,7 \text{ тс}$$

IV-я пара понтонов

$$P_{16-17} = 339\ (0,5 - \frac{1,79}{7}) = 81,4 \text{ тс}$$

$$P_{17-18} = 339(0,5 + \frac{1,79}{7}) = 257,6 \text{ тс}$$

$$P_{18-19} = 339 \text{ тс}$$

5.9. Распределение подъёмных сил по длине судна при отрыве от грунта выполнено в табл. 9.

5.10. Расчёт суммарной нагрузки на затонувшее судно при отрыве от грунта выполнен в табл. 10. При этом, при учёте величины отрывного сопротивления в шпации 8-9 определено

$$R_{8-9} = 13,1(0,5 + \frac{2,3}{7}) = 10,87 \text{ тс}$$

$$R_{9-10} = 13,1\ (0,5 - \frac{2,3}{7}) = 2,23 \text{ тс}$$

$$R_{8-9} = 65,52(0,5 + \frac{2,4}{7}) = 55,05 \text{ тс}$$

$$R_{7-8} = 65,52(0,5 - \frac{2,4}{7}) = 10,48 \text{ тс}$$

На рис. 3 представлена эпюра суммарной нагрузки на затонувшее судно при отрыве от грунта.

Распределение подъемных сил по длине судна при отрыве от грунта

Подъёмные силы	Q, тс	Подъемное усилие в теоретической шпации, кН (тс)																			Сумма слева
		20-19	19-18	18-17	17-16	16-15	15-14	14-13	13-12	12-11	11-10	10-9	9-8	8-7	7-6	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Равномерно-распределяемые силы:																						
Подъемная сила полистирола	3418,0	—	—	—	—	—	252,0	252,0	252,0	253,0	252,0	252,0	252,0	252,0	253,0	252,0	252,0	244,0	200,0	200,0	—	
Подъемная сила понтонов																						
I-я пара	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23,8	315,3	281,3	57,6	—	—	—	—	—	—	—	—	
II-я пара	—	—	—	—	—	—	—	240,7	278,0	159,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
III-я пара	—	—	—	—	118,7	257,6	301,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
IV-я пара	—	—	339,0	257,6	81,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Суммарная подъёмная сила понтонов	2711,0	—	339,0	257,6	200,1	257,6	301,7	240,7	278,0	183,1	315,3	281,3	57,6	—	—	—	—	—	—	—	—	
Подъёмная сила кранов	1440,0	730,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	710,0	
Сумма равномерно-распределенных сил	7569,0	730,0	339,0	257,6	200,1	257,6	553,7	492,7	530,0	436,1	567,3	533,3	309,6	252,0	263,0	252,0	252,0	244,0	200	200	710,0	Σ 7569,0
Множители		-9,5	-8,5	-7,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	-0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
Произведение		-6935	-2881	-1932	-1300	-1417	-2493	-1724	-1325	-652	-284	267	464	630	886	1134	1386	1586	1500	1700	6749	-4637

$$x_a = \frac{-4637}{7569,0} \cdot 7 = -4,29\text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица 10

Суммарная нагрузка затонувшего судна при отрыве от грунта

Границы теоретических шпаций	Множитель K	Подъёмный вес	Сила отрывного сопротивления	Равномерно-распределенная подъёмная сила	Суммарная равномерно-распределенная нагрузка (3)+(4)+(5)	Сосредоточенные подъёмные силы	Момент распределенных сил относительно О-го шпангоута $(6)\cdot\Delta L\,(K-\frac{1}{2})$
I	2	3	4	5	6	7	8
20-I9	20	37I,06	0,62	-730,0	-358,32	-	-489I0
I9-I8	I9	2I5,29	6,04	-339,0	-II7,67	-	-I5238
I8-I7	I8	432,98	9,9	-257,6	I85,28	-	22696
I7-I6	I7	552,46	I3,76	-200,I	366,I2	-	42287
I6-I5	I6	490,93	I6,89	-257,6	250,22	-	27I48
I5-I4	I5	392,28	20,57	-553,7	-I40,85	-	-I4296
I4-I3	I4	3I5,68	23,84	-492,7	-I53,I8	-	-I4475
I3-I2	I3	364,04	25,3	-530,0	-I40,66	-	-I2308
I2-II	I2	328,92	26,24	-436,I	- 80,94	-	- 65I6
II-I0	II	346,65	27,I5	-567,3	-I93,50	-	-I4222
I0-9	I0	373,6I	29,38	-533,3	-I30,3I	-	- 8666
9-8	9	382,37	65,9I	-309,6	-I38,68	-	- 825I
8-7	8	343,47	I37,04	-252,0	228,5I	-	II997
7-6	7	329,75	I2I,I	-253,0	I97,85	-	9002
6-5	6	309,0	II0,07	-252,0	I67,07	-	6432
5-4	5	298,07	9I,73	-252,0	I37,80	-	434I
4-3	4	305,69	67,92	-244,0	I29,6I	-	3I75
3-2	3	223,92	45,86	-200,0	69,78	-	I22I
2-I	2	I59,04	29,37	-200,0	-II,59	-	-I22
I-0	I	I63,47	2,77	-7I0,0	-543,76	-	-I963
					Σ_1=0,0		Σ_2=-I06

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Эпюра суммарной нагрузки затонувшего судна при отливе

Масштаб: 1 см = 100 тс

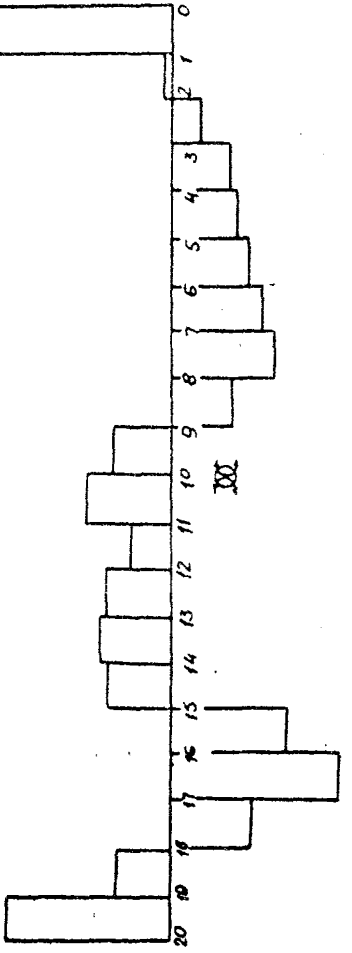


Рис. 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

5.II. В табл. II выполнен расчёт суммарной нагрузки при подъёме, когда судно уже отделено от грунта и находится в толще воды. При этом принято, что подъёмные силы, образованные полистиролом и понтонами, остались неизменными, а ликвидация силы отрывного сопротивления привела к уменьшению и перераспределению подъёмных усилий кранов.

6. Расчёт перерезывающих сил и изгибающих моментов

6.I. Перерезывающие силы и изгибающие моменты определены для следующих состояний судна:

- судно аварийное, находится на плаву;
- судно аварийное, находится на мели;
- затонувшее судно при подъёме в момент нахождения в толще воды.

6.2. Расчёт перерезывающих сил и изгибающих моментов для судна на мели приведен в табл. I2, для остальных случаев расчёт не приводится. Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов приведены для всех трех случаев на рис. 4,5,6.

7. Расчёт прочности корпуса судна по предельному моменту

7.I. Расчёт предельного изгибающего момента производится для миделевого сечения, представленного на рис. 7. Принято, что судно имеет повреждения в скуловой части левого борта. Крен судна -20°.

7.2. В качестве осей сравнения выбраны ось z_c, совпадающая со следом ДП, и ось y_c, совпадающая со следом основной плоскости.

7.3. Расчёт элементов эквивалентного бруса выполнен в табл. I3, в которой приводится расчёт только части связей эквивалентного бруса, для остальных связей, показанных на рис. 7, расчёт выполняется аналогично.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица II

Суммарная нагрузка затонувшего судна при подъёме в толще воды

Границы теоретических шпаций	Множитель K	Подъемный вес, тс	Сила отрывного сопротивления, тс	Равномерно распределенная подъёмная сила, тс	Суммарная равномерно распределенная нагрузка, тс	Сосредоточенные подъёмные силы, тс	Момент распределенных сил относительно 0-го шпангоута, тс $(6)\cdot\Delta\ell(K-\frac{1}{2})$
I	2	3	4	5	6	7	8
20-I9	20	37I,06	-	-4I6,0	-45,00	-	-6I42
I9-I8	I9	2I5,29	-	-339,0	-I23,70	-	-I6020
I8-I7	I8	432,98	-	-257,6	I75,38	-	2I484
I7-I6	I7	552,46	-	-200,I	352,36	-	40698
I6-I5	I6	490,93	-	-257,6	233,33	-	253I6
I5-I4	I5	392,28	-	-553,7	-I6I,42	-	- I6364
I4-I3	I4	3I5,68	-	-492,7	-I77,02	-	-I6728
I3-I2	I3	364,04	-	-530,0	-I65,96	-	-I452I
I2-II	I2	328,92	-	-436,I	-I07,I8	-	-8628
II-I0	II	346,65	-	-567,3	-220,65	-	-I62I8
I0-9	I0	373,6I	-	-533,3	-I59,69	-	-I06I9
9-8	9	382,37	-	-309,6	72,77	-	4330
8-7	8	343,47	-	-252,0	9I,47	-	4802
7-6	7	329,75	-	-253,0	76,75	-	3492
6-5	6	309,00	-	-252,0	57,00	-	2I94
5-4	5	298,07	-	-252,0	46,07	-	I45I
4-3	4	305,69	-	-244,0	6I,69	-	I5II
3-2	3	223,92	-	-200,0	23,92	-	4I8
2-I	2	I59,04	-	-200,0	-40,96	-	-430
I-0	I	I63,47	-	-I53,0	I0,47	-	37
					Σ =-0,37		Σ=+43

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица I2

Расчёт перерезывающих сил и изгибающих моментов судна на мели

Пределы теоретических шпаций	Нагрузка на шпацию, тс	Сумма (2) сверху	Интегральная сумма графы (3)	$-(3)\cdot\left[1\frac{(9)}{20}\right]$	Перерезывающая сила, тс (3)+(5)	$-(4)\cdot\left[1-\frac{(9)}{20}\right]$	Изгибающий момент, тс м $\frac{\Delta L}{2}\left[(4)+(7)\right]$	Номер теоретического шангоута
I	2	3	4	5	6	7	8	9
		0		0				20
20-I9	372,9	372,9	372,9	-0,I	372,8	3,8	I3I8	I9
I9-I8	87,0	459,9	I205,7	-0,2	459,7	7,5	4246	I8
I8-I7	32,3	492,2	2I57,8	-0,2	492,0	II,3	7592	I7
I7-I6	4I,I	533,3	3I83,3	-0,3	533,0	I5,I	III9I	I6
I6-I5	-I09,7	423,6	4I40,2	-0,4	423,2	I8,8	I4556	I5
I5-I4	I03,0	526,6	5090,4	-0,4	526,2	22,6	I7896	I4
I4-I3	-I03,I	423,5	6040,5	-0,5	423,0	26,4	2I234	I3
I3-I2	- 56,2	367,3	683I,3	-0,6	366,7	30,I	240I5	I2
I2-II	-I06,8	260,5	7459,I	-0,7	259,8	33,9	26226	II
II-I0	- 79,8	I80,7	7900,3	-0,8	I79,9	37,6	27782	I0
I0-9	- 59,3	I2I,5	8202,5	-0,8	I20,7	4I,4	28854	9
9-8	-375,0	-253,5	8070,5	-0,9	-254,4	45,2	28405	8
8-7	- 92,8	-346,3	7470,7	-I,0	-347,3	48,9	263I9	7
7-6	-I3I,6	-477,9	6646,5	-I,0	-478,9	52,7	23447	6
6-5	-563,I	-I04I,0	5I27,6	-I,I	-I042,I	56,5	I8I44	5
5-4	I5I,9	-889,I	3I97,5	-I,2	-890,3	60,2	II402	4
4-3	237,3	-65I,9	I656,5	-I,3	-653,2	64,0	6022	3
3-2	270,8	-38I,I	623,5	-I,4	-328,5	67,8	2420	2
2-I	22I,5	-I59,6	82,8	-I,4	-I6I,0	7I,5	540	I
I-0	I6I,I	I,5	-75,3	-I,5	0	75,3	0	0

Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов, действующих на аварийное судно на плаву

Рис. 4

Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов, действующих на аварийное судно, сидящее на мели

Рис. 5

Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов при подъеме судна в толще воды

Рис. 6

Приложение 6
(продолжение)

Схема эквивалентного бруса т/х „Полтава"

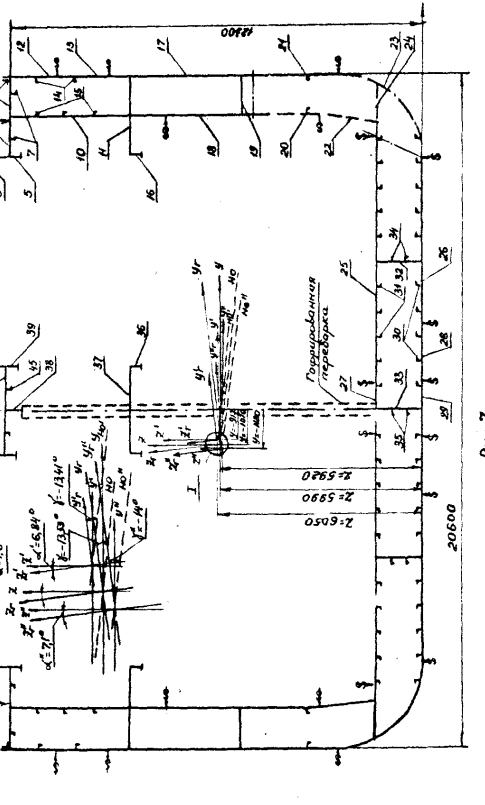


Рис. 7

Таблица I3

Расчёт элементов эквивалентного бруса без редуцирования

Наименование связей, их размеры, см	Площадь сечения, $см^2$	Отстояние ц.т. сечений от осей сравнения, м		Ось y_c			Ось z_c			Центробежный момент инерции (3)x(3)x(4) $см^2 \times м^2$
		z_o	y_o	статический момент инерции (3)x(4), $см^2 \times м$	переносный момент инерции (6)x(4), $см^2 \times м^2$	собственный момент инерции, $см^2 \times м^2$	статический момент инерции (3)x(5), $см^2 \times м$	переносный момент инерции (9)x(5), $см^2 \times м^2$	собственный момент инерции, $см^2 \times м^2$	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
I. Лист 25x2 ПБ	50,0	I3,50	7,90	675	9II2	0	395	3I20	0	5332
Лист 25x2 ЛБ	50	I3,50	-7,90	675	9II2	0	-395	3I20	0	-5332
2. Ребро ⊥ ПБ стенка 20xI,5	24	I3,50	7,70	324	4374	0	I85	I423	0	2495
полка I0xI,4	I4	I3,50	7,60	I89	2552	0	I06	809	0	I436
Ребро ⊥ ЛБ стенка 20xI,5	24	I3,50	-7,70	324	4374	0	-I85	I423	0	-2495
полка I0xI,4	I4	I3,50	-7,60	I89	2552	0	-I06	809	0	-I436
3. Лист II0xI,6 ПБ	I98	I2,95	7,85	2564	33205	20	I554	I220I	0	20I28
Лист II0xI,6 ЛБ	I98	I2,95	-7,85	2564	33205	20	-I554	I220I	0	-20I28
4. Ребро ⌐ I4б ПБ	I7	I2,90	7,94	2I7	2796	0	I34	I062	0	I72I
Ребро ⌐ I4б ЛБ	I7	I2,90	-7,94	2I7	2796	0	-I34	I062	0	-I72I
44. Ребро ⊥ ПВ стенка 20xI,2	24	I3,50	I,55	324	4374	0	37	58	0	502
полка I0xI,4	I4	I3,50	I,65	I89	2552	0	23	38	0	3I2
Ребро ⊥ ЛБ стенка 20xI,2	24	I3,50	-I,55	324	4374	0	-37	58	0	-502
полка I0xI,4	I4	I3,50	-I,65	I89	2552	0	-23	38	0	-3I2
45. Ребро ⌐ 20а ПБ	27	I2,35	0,65	337	4I64	0	I8	I2	0	2I9
Ребро ⌐ 20б ЛБ	27	I2,35	-0,65	337	4I64	0	- I8	I2	0	-2I9
					949748	30.7		839I55	II9I8	
Суммы	I5542			93055	952733		-I6689	85I073		-40458

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

7.4. Координаты центра тяжести сечения эквивалентного бруса

$$z = \frac{93055}{15542} = 5,99 \text{ м}$$

$$y = \frac{-16689}{15542} = -1,07 \text{ м}$$

7.5. Осевые и центробежный моменты инерции относительно центральных осей z и y

$$J_y = 952783 - 5,99^2 \cdot 15542 = 395692 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_z = 851073 - 1,07^2 \cdot 15542 = 833145 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_{yz} = -40458 - 5,99(-1,07) \cdot 15542 = 59478 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

7.6. Положение главных центральных осей z_1 и y_1 сечения эквивалентного бруса определяется углом α между ними и центральными осями z и y

$$tg\, 2\alpha = \frac{2 \cdot 59478}{833145 - 395695} = 0,272$$

$$2\alpha = 15,2^\circ$$

$$\alpha = 7,6^\circ$$

7.7. Главные моменты инерции

$$J_{y_1} = J_y \cdot \cos^2\alpha + J_z \cdot \sin^2\alpha - J_{yz} \cdot \sin 2\alpha =$$
$$= 395692 \cdot 0,991^2 + 833145 \cdot 0,132^2 -$$
$$- 59478 \cdot 0,262 = 387098 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_{z_1} = J_y \cdot \sin^2\alpha + J_z \cdot \cos^2\alpha + J_{yz} \cdot \sin 2\alpha =$$
$$= 395692 \cdot 0,132^2 + 833145 \cdot 0,991^2 +$$
$$+ 59478 \cdot 0,262 = 840694 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

7.8. Нейтральная ось сечения отклонена от главной оси y' на угол γ

$$tg\gamma = -\frac{J_{yz}}{J_{z_1}} \cdot tg(\alpha + \theta),$$

где $\theta = 30^\circ$ – принятый угол крена судна

$$tg\gamma = -\frac{387098}{840694} \cdot tg\,(7,6^\circ + 30^\circ) = -0,241$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

$$\gamma = -13{,}53^{\circ}$$

7.9. Координаты в главных осях наиболее удаленных точек "а" и "б" от оси НО равны:

$z_a = 6{,}30$ м $\qquad y_a = 9{,}85$ м

$z_\delta = -5{,}00$ м $\qquad y_\delta = -7{,}80$ м

7.10. Предельный изгибающий момент палубы

$$M_{пр}^{п} = \frac{2{,}4 \cdot 387098}{6{,}30} \times$$

$$\times \frac{1}{\cos(7{,}6^{\circ}+20^{\circ})\left[1+\frac{9{,}85}{6{,}30}\cdot\frac{387098}{840694}\cdot tg\,(7{,}6^{\circ}+20^{\circ})\right]} =$$

$$= 120900 \text{ тс·м}$$

7.11. Предельный изгибающий момент днища

$$M_{пр}^{д} = \frac{2{,}4 \cdot 387098}{5{,}00} \times$$

$$\times \frac{1}{\cos(7{,}6^{\circ}+20^{\circ})\left[1+\frac{(-7{,}8)}{(-5{,}00)}\cdot\frac{387098}{840694}\cdot tg\,(7{,}6^{\circ}+20^{\circ})\right]} =$$

$$= 152427 \text{ тс·м}$$

Расчётным предельным моментом является минимальный момент - момент палубы.

7.12. При проведении аварийно-спасательной или судоподъёмной операции возможен как прогиб так и перегиб корпуса судна, что вызывает сжатие соответственно палубы или днища. Поэтому должна быть проверена устойчивость палубных и днищевых элементов пластин.

Устойчивость продольных ребер жесткости обычно всегда обеспечена и поэтому не проверяется.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

7.13. При прогибе корпуса в сжатой зоне находится верхняя часть эквивалентного бруса, критические напряжения в пластинах которой определяются по формулам;

критические напряжения пластины обшивки борта между платформами при δ =1,5 см, b =80 см, a =332 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,5}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{322}\right)^2\right]^2 = 787 \text{ кгс/см}^2,$$

критические напряжения обшивки переборки между платформами

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,0}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{332}\right)^2\right]^2 = 350 \text{ кгс/см}^2,$$

критические напряжения в пластинах твиндечной палубы у борта при δ =1,0см, b =80 см, a =120 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,0}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{120}\right)^2\right]^2 = 652 \text{ кгс/см}^2$$

критические напряжения в пластинах верхней платформы при δ =1,0 см, b =80 см, a =125 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,0}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{125}\right)^2\right]^2 = 620 \text{ кгс/см}^2$$

критические напряжения в пластинах твиндечной палубы в середине при δ =1,2 см, b =80 см, a =137 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,2}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{137}\right)^2\right]^2 = 809 \text{ кгс/см}^2$$

критические напряжения в пластинах борта выше твиндечной палубы при δ =1,45 см, b =80 см, a =165 см^2

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,45}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{165}\right)^2\right]^2 = 1002 \text{ кгс/см}^2$$

критические напряжения в пластине борта между продольными ребрами при δ =1,6 см, b =80 см, a =113 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100\cdot 1,6}{80}\right)^2\left[1+\left(\frac{80}{113}\right)^2\right]^2 = 1802 \text{ кгс/см}^2$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

критические напряжения в пластине борта между ребром и палубой при δ =I,8 см, b =80 см, a =80 см

$$\sigma_{кр} = 800\left(\frac{100 \cdot 1,8}{80}\right)^2 = 4050 \text{ кгс/см}^2$$

(Все пластины палубы и комингсов имеют $\sigma_{кр} > \sigma_т$, так как их толщина $\delta \geq 1,8$ см, и $b > a$, поэтому их устойчивость обеспечена).

Критические напряжения в пластинах бортовой переборки выше твиндечной палубы при δ =I,0 см, b =80 см, a =I03 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100 \cdot 1,0}{80}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{80}{107}\right)^2 \right]^2 = 160 \text{ кгс/см}^2$$

критические напряжения пластин переборки между ребрами при δ =0,8 см, b =80 см, a =85 см

$$\sigma_{кр} = 200\left(\frac{100 \cdot 0,8}{80}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{80}{85}\right)^2 \right]^2 = 711 \text{ кгс/см}^2$$

7.I4. Расчёт элементов эквивалентного бруса с учётом редуцирования терявших устойчивость пластин при сжатии палубы выполнен в табл. I4.

Отстояние центров тяжести сечений редуцируемых связей от главных осей определяются по рис. 7.

7.I5. Напряжения в редуцируемых связях от действия предельного момента $M_{пр}$ определяются по формуле

$$\sigma_{преД} = M_{пр}^{n} \cdot \frac{z}{J_{y_1}} \cdot \cos(\alpha+\theta)\left[1 + \frac{y}{z} \cdot \frac{J_{y_1}}{J_{z_1}} \cdot tg\,(\alpha+\theta)\right]$$

Редукционные коэффициенты определяются по формуле

$$\varphi = 0,5\frac{b}{a} + (1 - 0,5\frac{b}{a})\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{преД}}$$

Результаты расчёта внесены в графу 8 табл. I4.

7.I6. Координаты ц.т. исправленной площади эквивалентного бруса

$$z'' = \frac{90682}{15305} = 5,92 \text{ м}$$

$$y'' = \frac{-18149}{15305} = -1,18 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица I4

Расчёт эквивалентного бруса при редуцировании связей

Наименование связей, их размеры, см	Площадь сечения, $см^2$	Отстояние ц.т. сечения от главных осей, м		$\sigma_{пр}$ кго/$см^2$	$\sigma_{кр}$ кго/$см^2$	Редукционный коэффициент φ	$(9)\cdot(\varphi-1)$	Отстояние ц.т. сечения от осей сравнения, м		Ось Y_c		Ось Z_c		Центробежный момент инерции (9)х(10)х(11) $см^2 \times м^2$
		z	y					Z_c	Y_c	статический момент (9)х(10), $см^2 \times м$	переносный момент инерции (12)х(10) $см^2 \times м^2$	статический момент (9)х(11), $см^2 \times м$	переносный момент инерции (14)х(11) $см^2 \times м^2$	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5
I. Эквивалентный брус без редуцирования							I5542			93055	952783	-I6689	85I043	-40458
Редуцируемые связи														
Правый борт														
2. Твиндечная палуба бортовая (I20xI,0)	I20	I,50	9,80	I068	652	0,74	-3I	8,75	8,50	-27I	-2373	-264	-2240	-2306
3. Верхняя платформа(I25xI,0)	I25	I,35	II,0	II06	650	0,72	-35	8,75	9,65	-306	-2690	-338	-3259	-2955
4. Твиндечная палуба средняя (I35xI,2)	I62	2,50	2,I0	832	809	0,98	- 3	8,75	0,7	- 26	- 230	- 2	- I	- I8
5. Борты выше твиндеч.палубы (I65xI,45)	239	2,I0	II,75	I365	I002	0,80	-48	9,60	I0,3	-46I	-4424	-434	-5092	-4746
6. Переборка выше твиндечной палубы (I05x0,8)	84	I,95	I0,5	I239	760	0,760	-20	9,3	9,05	-I86	-I730	-I8I	-I638	-I683
7. Пластины переборки между ребрами (80x0,8)	64	2,95	I0,60	I522	7II	0,72	-I8	I0,30	9,05	-I85	-I9I0	-I63	-I474	-I629
(80x0,8)	64	3,80	I0,75	I767	7II	0,68	-20	II,I5	9,05	-223	-2486	-I8I	-I638	-20I8
(80x0,8)	64	4,60	I0,80	I992	7II	0,66	-22	II,95	9,05	-263	-3I42	-I99	-I802	-2379
Левый борт														
8. Пластины переборки между ребрами (80x0,8)	64	5,25	-7,35	963	7II	0,86	- 9	I0,30	-9,05	- 93	- 955	8I	- 737	839
(80x0,8)	64	6,I0	-7,25	I205	7II	0,78	-I4	II,I5	-9,05	- I56	-I740	I27	-II47	I4I3
(80x0,8)	64	6,95	-7,I0	I450	7II	0,73	-I7	II,95	-9,05	- 203	-2428	I54	-I392	I838
							I5305			90682	928685	-I8I49	830653	-54I02

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

7.17. Осевые и центробежный моменты инерции относительно центральных осей

$$J_{y''} = 928685 - 5{,}92^2 \cdot 15305 = 392300 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_{z''} = 830653 - (-1{,}18)^2 \cdot 15305 = 809342 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_{y''z''} = -54102 - 5{,}92 \cdot (-1{,}18) \cdot 15305 = 52813 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

7.18. Положение главных осей z_r'' и y_r''

$$tg\,2\alpha' = \frac{2 \cdot 52813}{809342 - 392300} = 0{,}253$$

$$2\alpha'' = 14{,}21^\circ$$
$$\alpha'' = 7{,}1^\circ$$

7.19. Главные моменты инерции

$$J_{y_r''} = 392300 \cdot \cos^2 7{,}1^\circ + 809342 \cdot \sin^2 7{,}1^\circ - 52813 \cdot \sin 14{,}21^\circ = 385707 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

$$J_{z_r''} = 392300 \cdot \sin^2 7{,}1^\circ + 809342 \cdot \cos^2 7{,}1^\circ + 52813 \cdot \sin 14{,}21^\circ = 815935 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2$$

7.20. Положение нейтральной оси

$$tg\,\gamma'' = -\frac{385707}{815935}\, tg\,(7{,}1^\circ + 20^\circ) = -0{,}242$$

$$\gamma'' = -14^\circ$$

7.21. Координаты в главных осях точек, наиболее удаленных от нейтральной оси

$z_a'' = 6{,}40$ м $y_a'' = 10{,}0$ м

$z_b'' = -5{,}00$ м $y_b'' = -7{,}65$ м

7.22.

$$M'_{прод} = \frac{2{,}4 \cdot 385707 \cdot}{6{,}40 \cos(7{,}1^\circ + 20^\circ)\left[1 + \frac{10{,}0}{6{,}40} \cdot \frac{385707}{815935}\, tg\,(7{,}1^\circ + 20^\circ)\right]} =$$

$$= 11791 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Так как разность $M_{пр} - M'_{пр} < 0{,}1\, M_{пр}$
дальнейшего уточнения не требуется.

7.23. Аналогично выполняется расчёт при сжатии днища.

7.24. Определенные в разделе 6 изгибающие моменты составляют:
для судна на плаву $\approx$ 22000 тс·м
для судна на мели $\approx$ 29000 тс·м
для судна при подъёме $\approx$ II000 тс·м
Предельный момент палубы равен II7900 тс·м
Так как $\frac{M_{пр}}{M_{действ}} = 4{,}0 > 1{,}2 - 1{,}5$, прочность судна обеспечена.

8. Определение перерезывающих сил и изгибающих моментов в средних сечениях судна по методу интегральных коэффициентов

8.I. Определение перерезывающих сил и изгибающих моментов производится для судна, находящегося на мели, весовая нагрузка которого приведена в разделе 4.

Осадка судна: $d_{нл}$ =6,95 м, $d_{кл}$=8,0 м. Коэффициент полноты при этой осадке C_B=0,67, коэффициент полноты ватерлинии - α =0,766.

8.2. При расчёте по методу интегральных коэффициентов к "сосредоточенным" грузам относятся:
грузы в трюмах и твиндеках,
вода, масло, топливо, снабжение, провизия,
вода в затопленном отсеке,
реакция грунта,
суммарный вес оборудования в МКО,
вес надстроек с оборудованием,
рулевое устройство,
якорное устройство,
гребной винт,
гребной вал.

Веса "сосредоточенных" грузов и положение их центров тяжести определены по приближенным формулам и судовой документации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

8.3. Расчёт перерезывающих сил и изгибающих моментов от сосредоточенных грузов в сечениях на 7,9,II и I3 теоретических шпангоутах производится в табл. I6.

8.4. Перерезывающие силы и изгибающие моменты от распределенного веса корпуса в сечениях по 7,9,II и I3 теоретическим шпангоутом определяем в табл. I5 . В табл. I5 $a_к$ и $b_к$ определяем по табл. I, 2 справочного приложения 3.

Распределенный вес корпуса определяется как разница между весом судна порожнем и весом "сосредоточенных" грузов

$$P_к = P_{пор} - P_c = 5736 - 1830 = 3906 \text{ тс}$$

Таблица I5

Отстояние сечения от миделя	Отстояние сечения от кормового перпенд.	$a_к$	$N_к = a_к \cdot P_к$	$b_к$	$l_к = b_к \cdot L$	$M_к = N_к \cdot l_к$
I	2	3	4	5	6	7
$-0,15L$	$0,35L$	0,329	I288	0,I60	22,40	28800
$-0,05L$	$0,45L$	0,452	I768	0,202	28,28	50000
$0,05L$	$0,55L$	0,578	2260	0,248	34,72	78450
$0,15L$	$0,65L$	0,695	2720	0,297	4I,58	II3I00

8.5. Определяется средняя осадка судна

$$d_{ср} = \frac{d_{н1} + d_{к1}}{2} = \frac{6,95 + 8,00}{2} = 14,475 \text{ м}$$

При этой осадке $x_{c_0} = -0,287$ м

Стандартная абсцисса центра величины

$$x_{c\,м} = (0,2\,C_b - 0,I35)\,L = (0,2 \cdot 0,67 - 0,I35) \cdot I40,0 = -0,I4 \text{ м}$$

Таблица I6

Расчёт перерезывающих сил N_c и изгибающих моментов M_c от действия сосредоточенных сил при посадке на мель

Наименование сосредоточенных нагрузок	P_i, тс	Отстояние от миделя, x_i, м	Относительно расчётного сечения от миделя - шпангоута x_j											
			0,05 L =7 м			0,I5 L = 2I м			-0,I5 L = - 2I м			-0,05 L = - 7 м		
			P_i, тс	ℓ_i, м	$P_i \cdot \ell_i$, тс·м	P_i, тс	ℓ_i, м	$P_i \cdot \ell_i$, тс·м	P_i, тс	ℓ_i, м	$P_i \cdot \ell_i$, тс·м	P_i, тс	ℓ_i, м	$P_i \cdot \ell_i$, тс·м
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5
Рулевое и швартовное устройство	78,2	-70,0	78,2	77,0	602I	78,2	9I,0	7II6	78,2	49,0	3832	78,2	63,0	4927
Якорное устройство	II3,2	58,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гребной винт	I2,0	-66,6	I2	73,6	883	I2,0	87,6	I05I	I2,0	45,6	547	I2,0	59,6	7I5
Гребной вал	34,32	-60,39	34,32	67,39	23I3	34,32	8I,39	2793	34,32	39,39	I352	34,32	53,39	I832
Кормовая надстройка	5I6,24	-53,5	5I6,24	60,5	3I232	5I6,24	74,5	38460	5I6,24	32,5	I6778	5I6,24	46,5	24005
Бак	I72,08	60,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Машинно-котельное отд.с осн. оборуд.(дв.)	903,68	-45,8	903,68	52,8	47714	903,68	66,8	60366	903,68	24,8	22411	903,68	36,8	35063
Снабжение, вспомог.механизмы	I38,2	-37,8	I38,2	44,8	6I9I	I33,2	58,8	8I26	I38,2	I6,8	2322	I33,2	30,8	4256
Вода	70,0	-4I,9	70,0	48,9	3423	70,0	62,9	4403	70,0	20,9	I463	70,0	34,9	2334
Масло	27,0	-5I,6	27,0	58,6	I532	27,0	78,6	I960	27,0	30,6	826	27,0	44,6	I204
Топливо	385,9	I4,0	-	-	-	385,9	7,0	270I	-	-	-	-	-	-
	524,0	-I4,0	524,0	2I,8	II424	524,0	35,8	I8760	-	-	-	524,0	7,8	4088
	2I0,7	-38,5	2I0,7	45,5	9587	2I0,7	59,5	I2537	2I0,7	I7,5	3687	2I0,7	3I,5	6637
Грузы: трюм и танкдек I	I030,0	52,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
трюм и танкдек 2	I780,0	36,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
трюм и танкдек 3	I605,0	I9,I8	-	-	-	I605,0	I,82	292I	-	-	-	-	-	-
трюм и танкдек 4	2560,0	- 4,79	2560,0	II,79	30I82	2560,0	25,79	66022	-	-	-	-	-	-
трюм и танкдек 5	I500,0	-27,42	I500,0	34,42	5I630	I500,0	48,42	72630	I500,0	6,42	9630	I500,0	20,42	30630
Рефрижераторный трюм	I00,0	-6I,2	I00,0	68,2	6820	I00,0	82,2	8220	I00,0	40,2	4020,0	I00,0	54,2	5420
Вода в затопленных отсеках	I405	I8,82	-	-	-	I405,0	2,I8	3063	-	-	-	-	-	-
Реальная грунта	-2324,0	2I,0	-	-	-	-2324,0	0	0	-	-	-	-	-	-
Перерезывающая сила N_c			6674,34			7746,24			3590,34			4II4,34		
Изгибающий момент M_c					209002			3III29			67288			I2I220

Таблица I7

Отстояние расчётного сечения миделя	кормового перпендикуляра	$A_{осл}$	$a_{осл}$	$a_{осл} \cdot x_0$	$a_{сл}$ = (3)+(5)	$N_{сл}$ = $\gamma \cdot V \cdot$(6)	$B_{осл}$	$b_{осл}$	$b_{осл} \cdot x_0$	$B_{сл}$ = (8)+(10)	$l = b_{сл} \cdot L$	$M = N_{сл} l$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
$-0,15L$	$0,35L$	0,2862	I,585	0,0I58	0,3020	4450	0,I233	0,I82	0,00I8	0,I25I	I7,50	77800
$-0,05L$	$0,45L$	0,4286	I,740	0,0I74	0,4460	6590	0,I656	0,292	0,0029	0,I685	23,6	I55600
$0,05L$	$0,55L$	0,57I2	I,740	0,0I74	0,5886	8680	0,2I07	0,333	0,0038	0,2I45	30,0	260000
$0,15L$	$0,65L$	0,7I35	I,580	0,0I58	0,7293	I0750	0,2590	0,48I	0,0048	0,2638	36,9	397000

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Угол дифферента

$$\psi = \frac{d_{H} - d_{K}}{L} = \frac{6,95 - 8,00}{140} = -0,0075$$

Фактическая абсцисса центра величины

$$X_c = X_{c_0} + \frac{\alpha^2 \cdot L^2 \cdot \psi}{14,0 \cdot C_б \cdot d_{ср}} =$$

$$= \frac{0,766^2 \cdot 140^2 \cdot (-0,0075)}{14,0 \cdot 0,67 \cdot 7,475} - 0,287 =$$

$$= -1,24 - 0,287 = -1,527 \text{ м}$$

Коэффициент поправки к интегральным коэффициентам

$$X_0 = \frac{X_{c\,st} - X_c}{L} =$$

$$= \frac{-0,14 + 1,527}{140} = 0,01$$

8.6. Перерезывающие силы и изгибающие моменты от сил поддержания определяется в табл. 17 при γV =14750 тс, $C_б = 0,67$ $\bar{d} = \frac{7,475}{7,87} = 0,95$ $X_0 = 0,01$.

Коэффициенты $A_{осп}, a_{осп}, B_{осп}, b_{осп}$ определяются по табл. 1, 2, 3, 4 справочного приложения 4.

8.7. Суммарная перерезывающая сила и изгибающие моменты в сечениях по 7, 9, 11, 13 теоретическим шангоутам определяются в табл. 18.

Таблица 18

№ теор шп	N_c, тс	$N_к$, тс	$N_{сп}$, тс	$N_{сум}$, тс	M_c тс	$M_к$ тс	$M_{сп}$ тс	$M_{сум}$ тс м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	7750	2720	-10750	-280	311130	113100	-397000	27230
9	6670	2260	- 8680	250	209000	78450	-260000	27450
11	4110	1770	- 6590	-710	121220	50000	-155600	16220
13	3590	1290	- 4450	430	67290	28800	- 77800	18290

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(продолжение)

9. Определение предельной равномерно-распределенной нагрузки на перекрытие

9.I. Схема перекрытия, его размеры и конструкция связей представлены на рис. 8.

9.2. Определение размеров присоединенного пояска для балок

Так как присоединенные пояски при давлении на перекрытие из трюма находятся в растянутой зоне, их величина определяется как I/6 пролета или расстоянием между смежными балками:

Карлингсы - комингсы $\frac{l}{6} = \frac{17,5}{6} = 2,81$ м $\quad C = 4,37$ м

центральный карлингс $\frac{l}{6} = \frac{3,5}{6} = 0,58$ м $\quad C = 5,0$ м

концевые рамные бимсы $\frac{l}{6} = \frac{17,5}{6} = 2,81$ м $\quad C = 2,8$ м

консольные бимсы $\frac{l}{6} = \frac{3,75}{6} = 0,62$ м $\quad C = 2,8$ м

двойной консольный бимс $\frac{l}{6} = \frac{3,0}{6} = 0,50$ м $\quad C = 2,45$ м

Для карлингсов и концевых бимсов пояски односторонние, тогда площади присоединенных поясков будут равны:

карлингс - комингс $f = 140 \cdot 1,5 = 210$ см^2,

центральный карлингс $f = 58 \cdot 1,0 = 58$ см^2,

концевой рамный бимс $f = 140 \cdot 1,0 = 140$ см^2,

консольный бимс $f = 62 \cdot 1,5 = 93$ см^2,

двойной консольный бимс $f = 50 \cdot 1,5 = 75$ см^2

9.3. Определение пластических моментов сопротивления:

карлингс - комингс $f = 210$ см^2, $\omega = 84$ см^2, $f_1 = 120$ см^2,

$$W_{пл} = 64,5 \left[120 + \frac{84}{2} \right] = 10600 \text{ см}^3,$$

центральный карлингс

$f = 58$ см^2, $\omega = 28$ см^2, $f_1 = 14,4$ см^2

$$W_{пл} = 37,2 \left[14,4 + \frac{28}{2} \right] = 1060 \text{ см}^3,$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

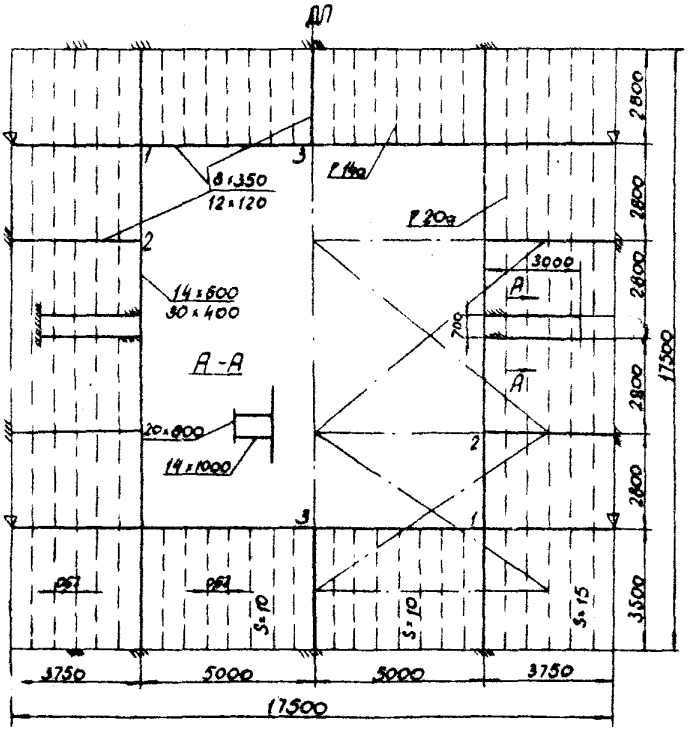


Рис. 8

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

концевой рамный бимс
f = I40 см^2, ω =28 см^2, f_1=I4,4 см^2,
$W_{пл}$ =I060 см^3

консольный бимс
f = 93 см^2, ω =28 см^2, f_1=I4,4 см^2,
$W_{пл}$ =I070 см^3,

двойной консольный бимс
f = 75 см^2, ω =I40x2=280 см^2, f_1=I60 см^2,

$$W_{пл}=I02,5\left[I60+\frac{280}{2}-\frac{(I60+280-75)^2}{4\cdot 280}\right]=I8600 \text{ см}^3,$$

продольная балка ⊢ 20а, W =268 см^3,

$W_{пл}$ =I,2 · 268 = 320 см^3,

продольная балка ⊢ I4а, W =I00 см^3,

$W_{пл}$ =I,2·I00 = I20 см^3

9.4. Продольный изгибающий момент

Предельный изгибающий момент определяется по формуле

$$M_{пр}=W_{пл}\cdot\sigma_н$$

Карлинг - коминг $M_{пр}$=I0600·235 = 2490 кН·м;
центральный карлинг $M_{пр}$=I060·235 = 249 кН·м;
концевой рамный бимс $M_{пр}$=249 кН·м,
консольный бимс $M_{пр}$=250 кН·м,
двойной консольный бимс $M_{пр}$=4360 кН·м;
продольная балка ⊢ 20а $M_{пр}$= 75 кН·м;
продольная балка ⊢ I4а $M_{пр}$= 23,5 кН·м

9.5. Предельная перерезывающая сила

Предельная перерезывающая сила определяется по формуле

$$N_{пр}=\frac{\sigma_н\cdot\sqrt{3}}{3}\cdot\varphi$$

карлинг - коминг $N_{пр}$ = II4 кН,
центральный карлинг $N_{пр}$ = 38 кН,
концевой рамный бимс $N_{пр}$ = 38 кН,
консольный бимс $N_{пр}$ = 380 кН,
продольная балка ⊢ 20 а $N_{пр}$ = 37 кН,
продольная балка ⊢ I4а $N_{пр}$=I9,7 кН
(для рассматриваемых балок φ =I,0).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

9.6. Карлинго-коминго можно рассматривать как две отдельные балки, ввиду наличия мощной рамы (двойного консольного бимса).

9.7. Предельная нагрузка узлов перекрытия I и 2 определяется по формулам:

$$q_1 = \frac{2\left[\frac{249{\cdot}2}{3,75} + \frac{2\cdot 9,1\cdot 2490}{3,5(5,6+2,8)}\right]}{3,15\cdot 6,87} = 148 \text{ кН/м}^2$$

$$q_1' = \frac{2\ (1\cdot 38 + 1,114)}{3,15\cdot 6,87} = 14,1 \text{ кН/м}^2$$

$$q_2 = \frac{2\left[\frac{250}{3,75} + 2490\,\frac{2\cdot 9,1}{3,5\ (5,6+2,8)}\right]}{2,80\cdot 6,87} = 167 \text{ кН/м}^2$$

$$q_2' = \frac{2(1\cdot 38 + 1,114)}{2,80\cdot 6,87} = 15,8 \text{ кН/м}^2$$

9.8. Предельная нагрузка рамного концевого бимса

$$q_3 = \frac{2\left[\frac{20\cdot 249}{20,0} + \frac{249}{10}\right]}{1,75\quad 5} = 51,4 \text{ кН/м}^2$$

$$q_3' = \frac{2(2\cdot 38 + 38)}{1,75\cdot 5} = 14,5 \text{ кН/м}^2$$

9.9. Предельная нагрузка продольной балки

$$q_4 = \frac{16\cdot 23,5}{3,5^2\cdot 0,62} = 51,3 \text{ кН/м}^2$$

$$q_4' = \frac{2\cdot 19,1}{3,5\cdot 0,62} = 17,6 \text{ кН/м}^2$$

9.10. Расчётная нагрузка для перекрытия
14,1 кН/м^2

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Анализ форм разрушения и величин предельных нагрузок для основных конструкций типовых транспортных судов. Отчёт по НИР, рук. Козляков В.В. Одесса.ОИИМФ. Инв. № Б 705740, 1978.

2. Беленький Л.М. Расчёт судовых конструкций в пластической стадии. Л., Судостроение, 1983.

3. Справочник по строительной механике корабля т. I, 2,3 под ред. Шиманского Ю.А., Л. Судпромгиз, 1960.

4. Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. Справочник по строительной механике корабля т.I,2,3. Л. Судостроение, 1982.

5. Справочник специалиста аварийно-спасательной службы ВМФ, т. 2 под ред. Чикера Н.П., М., Транспорт, 1963.

6. Дунаевский Я.И. Снятие судов с мели. М. Транспорт, 1971.

7. Регистр СССР. Правила классификации и постройки морских судов. Л., Транспорт, 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

I. РАСЧЁТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ И СУДОПОДЪЁМЕ..... 6
I.I. Общие положения..... 6
I.2. Классификация сил, действующих на аварийное или затонувшее судно..... 8
I.3. Определение массы судна и ее распределение по длине..... IO
I.4. Определение сил плавучести и распределение их по длине судна..... I4
I.5. Подъёмный вес судна и его распределение по длине..... I7
I.6. Опорная реакция грунта и ее распределение по длине..... I9
I.7. Определение веса воды в затопленных отсеках..... 22
I.8. Отрывное сопротивление и его распределение по длине судна..... 23
I.9. Подъёмные силы..... 25
I.IO. Расчёт нагрузки аварийного или затонувшего судна..... 29
I.II. Расчёт изгибающих моментов и перерезывающих сил..... 37
I.I2. Определение предельного изгибающего момента для корпуса судна..... 43
I.I3. Оценка общей прочности судна при аварийно-спасательных и судоподъёмных операциях..... 54
2. РАСЧЁТЫ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВАРИЙНОГО СУДНА..... 57
2.I. Общие положения..... 57
2.2. Определение предельных изгибающих моментов и перерезывающих сил балок..... 58
2.3. Расчёт предельной прочности однопролетных балок..... 62
2.4. Расчёт предельной прочности перекрытий на действие распределенной нагрузки..... 62
2.5. Расчёт предельной прочности перекрытий на действие сосредоточенных сил..... 74

2.6. Проверка прочности обшивки корпуса при действии подъёмных стропов..... 76
2.7. Проверка прочности бортового набора на давление судоподъёмных понтонов..... 89
2.8. Проверка прочности корпуса судна в районе прилегания подстропных подушек..... 90
2.9. Расчёт судоподъёмных проушин и обухов..... 94
2.10. Проверка прочности надстройки при снятии судна с мели..... 100
Приложение I. Приближенное определение массы судна порожнем и абсциссы его центра тяжести..... 102
Приложение 2. Программа "Волна-82" для определения изгибающих моментов, перерезывающих сил и прогибов на тихой воде и волнении..... 113
Приложение 3. Таблицы интегральных коэффициентов сил распределенного веса корпуса..... 124
Приложение 4. Таблицы интегральных коэффициентов сил поддержания..... 129
Приложение 5. Инструкция по подготовке и перфорации исходной информации для программы..... 152
Приложение 6. Примеры расчётов..... 30
Приложение 7. Рекомендуемая литература..... 205

Подписано в печать 25.07.86. Формат 60х84/16. Печать офсетная.
Усл.печ.л.12,09. Усл.кр.-отт.12,21. Уч.-изд.л.8,37. Тираж 1000. Заказ 2009. Изд. № 892/6-н.
Цена 1 руб. 67 коп.

Типография В/О "Мортехинформреклама": 113114, Москва, Кожевническая улица, дом 19

gost.e-ecolog.ru