

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В.Г. Матвєєв, Г.В. Шарун

**ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО
МІДЕЛЬ-ШПАНГОУТА НАВАЛОЧНИХ СУДЕН**

Рекомендовано Методичною радою НУК
як методичні вказівки

Миколаїв 2004

Матвеев В.Г., Шарун Г.В. Проектування конструктивного мідель-шпангоута навалочних суден: Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2004. – 68 с.

Кафедра конструкції корпусу корабля

Наведено методичні рекомендації щодо виконання курсового проекту, які виходять з основних вимог Правил класифікації та побудови морських суден Російського морського Регістру судноплавства (том 1) 1999 р. і Правил класифікації та побудови морських суден Регістру судноплавства України (том 1) 2002 р. до проектування конструктивних мідель-шпангоутів суховантажних суден. Подано довідкові відомості, які необхідні для проектування конструкцій суден цього типу.

Вказівки можуть використовуватись студентами, які навчаються за спеціальністю 8.100201 "Кораблі та океанотехніка", для дипломного проектування навалочних суден.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Л.І. Коростильов

ВСТУП

Виконання курсового проекту з дисципліни "Конструкція корпусу корабля" дозволяє студентам систематизувати знання, набуті навички практичного їх застосування для розв'язання різноманітних задач, які пов'язані з проектуванням конструкцій корпусу судна.

Проектування конструкцій корпусу виконується відповідно до Правил Російського морського Регістру судноплавства (том 1) 1999 р. [7] і Правил класифікації та побудови морських суден Регістру судноплавства України (том 1) 2002 р. [6], які поширюються на сталеві судна довжиною від 12 до 350 м. Для суден необмеженого району плавання відношення головних розмірів не виходять за такі межі:

відношення довжини судна до висоти борту $L/D \leq 18$;

відношення ширини судна до висоти борту $B/D \leq 2,5$.

Проектування конструкцій, які не охоплені даними методичними вказівками (шахти, тунелі, фундаменти, надбудови, рубки тощо), виконується відповідно до [8].

1. ОБ'ЄМ І ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Завданням на курсовий проект передбачається проектування конструкцій корпусу навалочного судна (перерізів по вантажному трюму, по суцільному флору та між суцільними флорами) з визначеними головними розмірами: L – довжина судна між перпендикулярами, м; B – ширина, м; D – висота борту, м; d – осадка на міделі, м; C_b – коефіцієнт загальної повноти судна; C_m – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута; X_g – абсциса центра ваги судна, м; V – швидкість судна, вуз.

Курсовий проект рекомендується виконувати в такій послідовності:

необхідно впевнитися, що розміри проєктованого судна знаходяться в діапазоні, який наведено в Правилах [6, 7];

обрати архітектурно-конструктивний тип судна, схему поздовжнього та поперечного перерізів і системи набору окремих перекриттів судна;

вибрати матеріал корпусу судна;

викреслити обводи мідель-шпангоута, визначити шпацию;

розрахувати моменти опору та момент інерції поперечного перерізу корпусу, використовуючи стандартні програми для розрахунку згинальних моментів та перерізуючих сил на тихій воді;

розрахувати за Правилами розміри в'язей корпусу судна;

перевірити загальну поздовжню міцність корпусу судна, попередньо виконавши розрахунок еквівалентного бруса;

накреслити конструктивний мідель-шпангоут з показом на кресленні розмірів в'язей корпусу;

оформити пояснювальну записку до курсового проекту обсягом 25–30 сторінок.

Курсовий проект повинен бути оформлений згідно з вимогами ЄСКД. Розрахунково-пояснювальна записка виконується на аркушах формату А4 (297×210 мм) відповідно до ГОСТ 2.104–68 і повинна містити всі розрахункові формули та позначення вхідних величин, а також підставлення в формули початкових даних. Проміжні розрахунки не наводяться. Розрахунки необхідно ілюструвати схемами перекриттів з указуванням прогонів балок і шпаций.

Конструктивний мідель-шпангоут креслять на аркуші формату А1 (594×841 мм) в масштабі 1:25. Лінії, що позначають в'язі, які розрізаються площиною мідель-шпангоута, повинні мати товщину не менше 1 мм. Для видимого контуру застосовується суцільна основна лінія товщиною близько 0,6 мм. Конструктивні вузли та розрізи виконуються на вільному полі креслення з указуванням масштабу.

Закінчується пояснювальна записка переліком використаної літератури.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОЕКТОВАНЕ СУДНО

2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проектоване судно є суховантажним навалочним з кормовим розташуванням машинного відділення та житлової надбудови, з коротким баком, нахиленим форштевнем або з бульбовою носовою кінцевістю і транцевою кормою (рис. 1). Судно може мати мінімальний або надлишковий

надводний борт, подвійне дно, одну палубу, одинарний або подвійний борт з бортовими підпалубними та скуловими цистернами, поперечні водонепроникні плоскі або гофровані перегородки чи перегородки кофердачного типу.



Рис. 1

У курсовому проекті зображують схеми поздовжнього розрізу корпусу з поділом судна на відсіки (рис. 2) та поперечного перерізу корпусу по вантажному трюму з показом бортових підпалубної та скулової цистерн, подвійного дна, борту або подвійного борту, ширини люка (рис. 3).

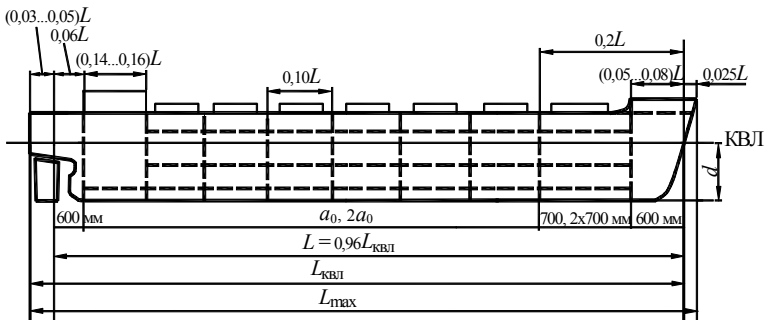


Рис. 2

Якщо форштевень судна виконано нахиленим, то довжина форпіка дорівнює $(0,05...0,08)L$ від носового перпендикуляра і закінчується форпіковою перегородкою. При бульбовій носовій кінцевості довжину форпіка визначають від умовної лінії, яка розташована на відстані x попереду носового перпендикуляра (рис. 4).

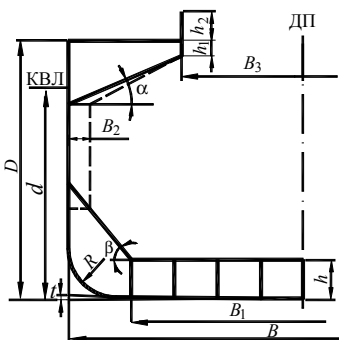


Рис. 3

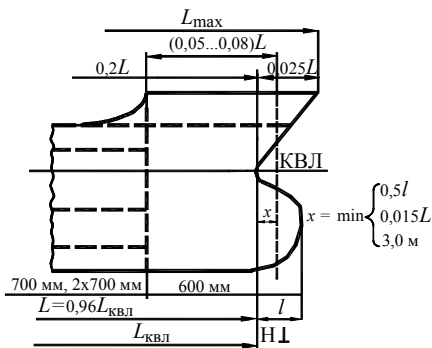


Рис. 4

Ахтерпікова перегородка розташована на відстані $(0,05...0,06)L$ в ніс від кормового перпендикуляра.

Довжину машинного відділення рекомендовано взяти $(0,14...0,16)L$, довжину вантажних трюмів – $0,1L$. Мінімальна кількість поперечних водонепроникних перегородок на судні повинна відповідати вимогам Правил (табл. 2.7.1.3) [7], (табл. 2.7.1.4) [6]*).

2.2. Вибір шпациї

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою

$$a_0 = 0,002L + 0,48 \text{ м},$$

де L – довжина судна між перпендикулярами, м.

Правила дозволяють відхилення взятій шпациї від нормальної в межах $\pm 25\%$. Розраховану величину шпациї необхідно округлити: взяти рівною величині стандартної шпациї згідно з ОСТ 5.1099-78.

Ряд стандартних шпациї: 600, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 мм.

*) Тут і далі номери формул і таблиць, взяті в круглі дужки, відповідають Правилам [6, 7].

Правила рекомендують не застосовувати шпацию більше 1000 мм, а в форпіку й ахтерпіку взяти шпацию 600 мм.

Крім того, в першому за форпіковою перегородкою відсіку на протязі $0,2L$ у корму від носового перпендикуляра шпация повинна бути 700 мм (див. рис. 2).

На навалочних суднах, з урахуванням характеристик вантажів, суцільні флори повинні бути розташовані через дві шпациї від форпікової до ахтерпікової перегородки, тому довжина відсіків береться кратною шпациї та двом шпациям (див. рис. 2).

2.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна

Навалочний вантаж, порівняно зі штучним, є більш важким і щільним. На навалочному судні вантажопідйомність використовується повністю і навіть невелике збільшення її за рахунок полегшення ваги корпусу спричиняє відчутне збільшення провозоспроможності судна.

Розміщення навалочних вантажів на судні може бути нерівномірним. Довжина навалочного судна відносно велика. Тому величини загальних згинальних моментів і перерізуючих сил на навалочному судні достатньо великі [1–4, 9].

При обраному матеріалі вага корпусу судна суттєво залежить від величини згинальних моментів і перерізуючих сил, а також від розподілу матеріалу по поперечному перерізу корпусу та ефективного використання міцності цього матеріалу.

Тому верхня палуба, частина борту в районі бортової підпалубної цистерни і похила стінка підпалубної цистерни виконуються за поздовжньою системою набору.

Частина настилу палуби, розташована між поперечними комінгсами суміжних вантажних люків, підкріплюється поперечними ребрами жорсткості, які встановлюються на кожному шпангоуті додатково між поздовжніми палубними балками.

Подвійне дно навалочного судна в районі вантажних відсіків виконується за поздовжньою системою набору.

Одинарний борт між підпалубною і скуловою цистернами виконується за поперечною системою набору.

Подвійний борт і бортові скулові цистерни виконуються як за поперечною, так і за поздовжньою системою набору. Остання частіше застосовується на навалочних суднах довжиною більше 180 м [2–4].

2.4. Вибір марки та категорії сталі

Для виготовлення корпусу навалочного судна використовуються суднобудівні сталі нормальної міцності категорій А, В, D, Е з границею плинності $R_{eH} = 235$ МПа і сталі підвищеної міцності категорій А, D, Е, F з границею плинності $R_{eH} > 235$ МПа.

Вибір сталі залежить від ступеня відповідальності, умов роботи конструкції та економічності.

Деякі характеристики суднобудівних сталей наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Марка сталі	R_{eH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних властивостей (η)	Нижня границя температури, °С	Відносне подовження, %	Приблизна вартість 1 т, %
ВСт3сп	235	1,00	–20	20	100
09Г2С	315	0,78	–60	18	110
10Г2С1Д	355	0,72	–60	16	130
10ХСНД	390	0,68	–40	16	170

Для корпусних конструкцій навалочного судна, як правило, застосовується сталь підвищеної міцності.

Як розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взяті нормативні границі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями: $\sigma_n = 235/\eta$, $\tau_n = 0,57\sigma_n$ МПа, де η – коефіцієнт, що визначається за табл. 2.1.

2.5. Креслення обводів мідель-шпангоута

В курсовому проєкті виконуються перерізи по вантажному трюму: справа – переріз по шпангоутній рамі, зліва – переріз між шпангоутними рамами (див. рис. 3).

Підйом t лінії днища та радіус закруглення скули R визначаються за формулами:

$$t = d(1 - C_m); \quad R = \sqrt{\frac{Bt}{0,86}} \text{ м,}$$

де d – осадка, м; C_m – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута; B – ширина судна, м.

Подвійне дно у вантажних відсіках розташовується між бортовими скуловими цистернами (див. рис. 3). Ширина його $B_1 \leq 0,75B$, висота

$$h = \frac{L - 40}{570} + 0,04B + 3,5 \frac{d}{L} \text{ м.}$$

Крайній днищевий стрингер розташовується від борту на відстані не менше ніж $0,125B$. Кут нахилу стінки скулової цистерни до горизонту $\beta = 45 \dots 55^\circ$ (див. рис. 3).

Висоту стінки карлінгса можна взяти $h_1 = 0,8$ м, висоту стінки поздовжнього комінгса люка – $h_2 = 1,2 \dots 1,8$ м. Кут нахилу стінки підпалубної бортової цистерни до горизонту – $\alpha \leq 30^\circ$.

Ширина вантажного люка B_3 повинна бути не менше $0,5B$. Якщо борт виконується як подвійний, то його ширина $B_2 \leq 1,0$ м (див. рис. 3).

Ширина горизонтального кіля не може бути більше 2000 мм і визначається за формулою

$$b_k = 800 + 5L. \quad (2.2.4.4)$$

Верхню палубу виконують з вигином, який дорівнює $B/50$. Місця розміщення поздовжніх балок основного набору позначаються, починаючи від діаметральної площини, і не повинні збігатися з пазами листів. Мінімальна відстань між пазами листів і лініями приварювання поздовжніх балок – 75 мм.

Листи обшивки або настилу розміщують довгим боком уздовж судна. Кількість типорозмірів листового та профільного прокату повинна бути мінімальною. Розміщення пазів листів зовнішньої обшивки треба починати від діаметральної площини (ДП), листів настилу палуби – від бортів до ДП.

3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ В'ЯЗЕЙ

3.1. Вимоги до розмірів елементів конструкцій корпусу

Розміри елементів конструкцій або характеристики, які визначають їх розміри (моменти опору та інерції, площі поперечних перерізів стінок балок тощо), розраховуються за формулами, наведеними в Правилах [6, 7]. Профіль балки обирається за табл. 1Д–5Д, які наведені в додатку.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю визначається за формулою

$$W = W' \omega_k, \quad (1.6.4.1)$$

$$W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_\sigma \sigma_n}, \quad (1.6.4.2)$$

де W' – момент опору балки без урахування запасу на знос і корозію, см^3 ; ω_k – поправка на знос і корозію; $Q = Pal$ – поперечне навантаження на балку, кН; l – прогін балки, м; P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа; a – відстань (шпация) між балками, які розглядаються, м; m, k_σ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил.

Момент опору поперечного перерізу складених зварних балок $W = W' + \Delta W$, де ΔW – додаток частини моменту опору, см^3 , розрахований збільшенням товщин елементів профілю балки на величину ΔS .

Для призначення розмірів складеної балки за моментом опору W , який встановлюється Правилами, необхідно знайти момент опору поперечного перерізу W' в середині періоду служби судна. Потім за величиною W' балку підбирають відповідно до сортаменту або призначають складену зварну балку.

Далі згідно з розд. 3.2 даних вказівок визначають величину ΔW для висоти стінки h , ширини вільного пояска b і приєднаного пояска $b_{п.п}$ підібраної за W' складеної балки (рис. 5).

Розраховують будівельний момент опору балки ($W = W' + \Delta W$) і підбирають нову складену зварну балку. Якщо значення моменту опору поперечного перерізу W , см^3 , яке вимагається Правилами, більше за наведене в сортаменті для зварних таврів, то необхідно спроектувати складений профіль балки.

За невідому величину беруть площу вільного пояска F_1 , см^2 , а розміри стінки та приєднаного пояска балки повинні бути призначені. Ширину приєднаного пояска $b_{п.п}$ балки визначають згідно з розд. 3.4. Товщину стінки балки призначають за площею поперечного перерізу стінки f_c , см^2 , яка вимагається Правилами, або за мінімальними товщинами $S_{\min}$. Висоту стінки можна визначити за формулою

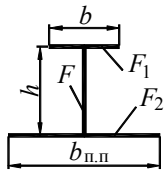


Рис. 5

$$h = 1,16 \sqrt{\frac{W}{0,1S}} \text{ см},$$

де S – товщина стінки, мм.

Площу вільного пояса балки в першому наближенні розраховують за формулою

$$F_1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} \quad \text{см}^2,$$

де F – площа стінки балки, см^2 ; $k = 4,5$.

Потім уточнюють коефіцієнт k :

$$k = 6 \frac{2F_2 + F}{4F_2 - 2F_1 + F} \quad (k = 3 \dots 6),$$

де F_2 – площа приєднаного пояса, см^2 ; F_1 – площа вільного пояса, см^2 , одержана в першому наближенні.

Після цього визначають площу вільного пояса у другому наближенні при уточненому значенні k :

$$F_1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k}.$$

За площею F_1 , одержаною у другому наближенні, визначають ширину b , см , вільного пояса:

$$b = \frac{F_1}{0,1S_1},$$

де S_1 – товщина вільного пояса, який беруть товстішим від стінки на 2...3 мм.

Потім перевіряють момент опору W , см^3 , спроектованої балки, який повинен бути не меншим моменту опору, визначеного за Правилами:

$$W = h \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right].$$

Площа поперечного перерізу стінки балки катаного профілю

$$f_c = f'_c \omega_k, \quad (1.6.4.3-1)$$

$$f'_c = \frac{10N_{\max}}{k_\tau \tau_n}, \quad (1.6.4.3-2)$$

де f'_c – площа поперечного перерізу стінки балки без урахування запасу на знос, см^2 ; ω_k – поправка на знос і корозію; $N_{\max} = nPal$ – максимальна величина перерізуючої сили, кН ; n – коефіцієнт, який визначається у відповідних розділах Правил; k_t – коефіцієнт допустимих дотичних напружень, також визначається у відповідних розділах Правил; τ_n – нормативна границя плинності за дотичними напруженнями, МПа .

Площа поперечного перерізу стінки складених зварних балок

$$f'_c = f'_c + 0,1h\Delta S,$$

де h – висота стінки балки, см ; ΔS – додаток на знос і корозію, мм .

Товщина обшивки (настилу) визначається за формулою

$$S = m a k \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \sigma_n}} + \Delta S \quad \text{мм}, \quad (1.6.4.4)$$

де m, k_σ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил; a – відстань (шпация) між балками, які розглядаються, м ; P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа ; $k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$; a, b – відповідно менший і більший

розміри боків опорного контуру листового елемента, м ; σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа ; ΔS – додаток на знос і корозію, мм .

Будівельні товщини елементів корпусу, які визначені за умовами міцності та стійкості, повинні бути не менші від мінімальних, що вказані у відповідних розділах Правил для конкретних конструкцій.

Мінімальні товщини розраховують з точністю до десятих міліметра і не округлюють. Мінімальна товщина в'язей корпусу повинна бути не менше 4 мм .

З мінімальними товщинами порівнюють товщини конструкцій, які визначені розрахунком за формулами Правил.

Взята найбільша товщина елемента конструкції округлюється від 4 до 20 мм через 0,5 мм , від 20 мм через 1 мм і повинна відповідати ГОСТ 5521–86.

Моменти опору та інерції поперечного перерізу балки розраховують разом з приєднаним пояском, товщину якого беруть в перерізі, що розглядається, рівною середній товщині листа, прилеглого до балки.

Ширина приєданого пояса балок основного набору дорівнює меншій з величин, які визначаються за формулами:

$$a_{\text{п}} = \frac{l}{6}; \quad a_{\text{п}} = 0,5(a_1 + a_2) \text{ м}, \quad (1.6.3.3)$$

де l – прогін балки, м; a_1, a_2 – відстань від балки до ближніх балок того ж напрямку, розташованих по обидва боки від неї, м.

Ширина приєднаного пояска балок рамного набору розраховується за формулою

$$c_{\text{п}} = kc \text{ м}, \quad (1.6.3.4)$$

де k – коефіцієнт, який знаходять за табл. (1.6.3.4); $c = 0,5(c_1 + c_2)$; c_1, c_2 – відстань від рамної балки до ближніх рамних балок того ж напрямку, розташованих по обидва боки від неї, м.

Таблиця (1.6.3.4)

Кількість балок n	k при $l_{\text{зв}}/c$							$l_{\text{зв}}/C$
	1	2	3	4	5	6	7 і більше	
≥ 6	0,38	0,62	0,79	0,88	0,94	0,98	1,00	k
≤ 3	0,21	0,40	0,53	0,64	0,72	0,78	0,80	k

У табл. (1.6.3.4) n – кількість балок, які підтримує рамна балка, що розглядається; $l_{\text{зв}}$ – зведений прогін рамної балки, м; $l_{\text{зв}} = l$ – для рамних балок, вільно обпертих по кінцях; $l_{\text{зв}} = 0,6l$ для жорстко закріплених балок.

Для проміжних значень n і $l_{\text{зв}}/c$ коефіцієнт k визначається лінійною інтерполяцією.

Балки основного набору, які розташовані в межах ширини приєднаного пояска рамної балки, належать до її поперечного перерізу.

3.2. Урахування зносу та корозії в'язей корпусу

Урахування впливу зносу та корозії на розміри в'язей корпусу ґрунтується на нормуванні міцності в середині періоду експлуатації конструкції.

Будівельна товщина S , мм, яку вимагають Правила для листових конструкцій, визначається за формулою

$$S = S' + \Delta S,$$

$$\Delta S = u(T - 12), \quad (1.1.5.1)$$

де S' – товщина листа, мм, яка відповідає середині періоду служби суд-

на; ΔS – додаток на знос і корозію, мм; u – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу та корозії, яке беруть відповідно до табл. (1.1.5.2); T – період служби конструкції, р. (береться $T = 24$ р.), якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$.

Таблиця (1.1.5.2)

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік, група II
1.1	Настил верхньої палуби	0,20
2.1.1	Обшивка борту надводного	0,13
2.1.2	Обшивка борту в районі змінних ватерліній	0,19
2.1.3	Обшивка борту нижче району змінних ватерліній	0,16
2.3.1, 2.3.2	Обшивка подвійного борту надводного і в районі змінних ватерліній, якщо в міжбортовій цистерні розміщено баласт	0,21
2.3.3	Обшивка подвійного борту нижче району змінних ватерліній, якщо в міжбортовій цистерні розміщено баласт	0,18
3.2.3	Обшивка дна в районі баластних відсіків	0,20
4.1.2	Настил внутрішнього дна в районі баластних відсіків	0,20
4.2.1	Обшивка скулових цистерн: нижній пояс/інші пояси	0,30/0,17
5.2.1 5.2.2	Обшивка перегородки між вантажними трюмами: верхній пояс (0,1D від верхньої палуби) інші пояси	0,13 0,18
5.5.1 5.5.2 5.5.3	Обшивка внутрішнього борту – перегородка між вантажним та баластним відсіками: верхній пояс (0,1D від верхньої палуби) середній пояс нижній пояс	0,30 0,25 0,20
5.6	Обшивка підпалубної цистерни	0,20
6.1.6	Поздовжні балки палуби, балки підпалубної цистерни (баластний відсік)	0,20
6.2.6	Карлінгси, рамні бімси палуби, підпалубної цистерни (баластний відсік)	0,21
6.3	Комінгси вантажних люків	0,12
7.1.2	Основні та рамні шпангоути в трюмі	0,13
7.1.6	Поздовжні балки, рамні шпангоути, вертикальні стояки, рами підпалубної та скулової цистерни	0,21

Продовж. табл. (1.1.5.2)

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	и, мм/рік, група II
8.2.3	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і внутрішнього дна у відсіках подвійного дна (баластні цистерни)	0,20
9.1, 9.2	Обшивка і набір фальшборту	0,10

Момент опору W , см³, поперечного перерізу, який вимагається Правилами, для балок катаного профілю дорівнює $W'\omega_k$. Поправка визначається за формулою

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \Delta S,$$

де $\alpha_k = 0,07 + 6/W' \leq 0,25$ при $W' < 200$ см³; $\alpha_k = \frac{1}{0,15} (0,01 + 1/W')$ при $W' \geq 200$ см³; W' – момент опору поперечного перерізу в середині періоду служби судна відповідно до формули (1.6.4.2); ΔS – додаток на знос і корозію, мм.

Момент опору поперечного перерізу, який вимагають Правила для складених зварних балок, визначається за формулою

$$W = W' + \Delta W,$$

де ΔW – додаток моменту опору, розрахований збільшенням товщини елементів профілю на величину ΔS .

Для розрахунку ΔW можна використати формулу

$$\Delta W = 0,1h\Delta S \left[b + \frac{h}{6} \left(2 - \frac{2b + h}{2b_{н.п} + h} \right) \right],$$

де h – висота стінки балки, см; ΔS – додаток на знос і корозію, мм; b , $b_{н.п}$ – ширина відповідно вільного і приєднаного поясів балки, см (див. рис. 5).

3.3. Стійкість елементів конструкції корпусу

Стійкість поздовжніх балок основного та рамного набору, листів обшивки та настилів конструкцій корпусу в середній частині судна повинна бути забезпечена при дії стискальних напружень від загального поздовжнього згину.

Стійкість конструкцій вважається забезпеченою, якщо виконуються умови $k\sigma_c \leq \sigma_{cr}$; $\tau_c \leq \tau_{cr}$, де σ_c , τ_c – нормальні стискальні та дотичні напруження, МПа; k – коефіцієнт запасу за стійкістю; $k = 1,0$ для пластин і поздовжніх балок рамного набору; $k = 1,1$ для поздовжніх балок основного набору.

Діючі стискальні нормальні напруження визначаються за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_T z_i \cdot 10^5}{I} \geq \frac{30}{\eta} \text{ МПа},$$

де $M_T = |M_{SW} + M_W|$ – розрахунковий згинальний момент, кН·м, для розглядуваного перерізу; M_{SW} – згинальний момент на тихій воді, кН·м; M_W – хвильовий згинальний момент, кН·м; z_i – відстань, м, від нейтральної осі до в'язі, яка розглядається; I – момент інерції поперечного перерізу корпусу, см⁴. Для в'язей, розташованих нижче нейтральної осі, за розрахунковий беруть момент, який викликає перегин корпусу, а для розташованих вище нейтральної осі – момент, що спричиняє прогин корпусу.

Критичні напруження σ_{cr} , τ_{cr} , МПа, визначаються в залежності від ейлерових напружень σ_e , τ_e і границі плинності матеріалу R_{eH} :

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \sigma_e \text{ при } \sigma_e \leq 0,5R_{eH}; \\ \tau_{cr} &= \tau_e \text{ при } \tau_e \leq 0,29R_{eH}; \\ \sigma_{cr} &= R_{eH} (1 - R_{eH}/4\sigma_e) \text{ при } \sigma_e > 0,5R_{eH}; \\ \tau_{cr} &= R_{eH} (0,58 - 0,08R_{eH}/\tau_e) \text{ при } \tau_e > 0,29R_{eH}. \end{aligned}$$

Ейлерові напруження σ_e , МПа, для поздовжніх балок основного набору визначаються за формулою

$$\sigma_e = \frac{206i}{f l^2}, \quad (1.6.5.4-1)$$

де i – момент інерції балки, см⁴, з приєднаним пояском, що розрахований для товщини, зменшеної на величину ΔS , табл. (1.6.5.5-2); f – площа поперечного перерізу балки, см², з приєднаним пояском, яка розрахована для товщини, зменшеної на величину ΔS , табл. (1.6.5.5-2); l – прогін балки, м. Ширину приєданого пояса при розрахунку i та f можна взяти як відстань між балками основного набору.

Для визначення моменту інерції i поперечного перерізу зношеного штабобульбового профілю можна замінити його тавровою балкою (рис. 6), використовуючи наступні формули:

$$f = S_c h_c; \quad h_c = h - S_n; \quad S_n = \frac{f - h S_c}{b - S_c},$$

де h_c – розрахункова висота стінки штабобульба, см ($h_c \approx 0,875h$); h – 16

висота профілю, см; S_c – товщина стінки штабобульба, см; b – ширина бульба, см; S_{Π} – товщина бульба штабобульба, см; f – площа поперечного перерізу штабобульба без приєднаного пояса, см²; f_c – площа поперечного перерізу стінки штабобульба, см².

Таблиця (1.6.5.5-2)

Конструкція	ΔS , мм
Приміщення для сухого навалочного вантажу Вертикальні поверхні та поверхні, що мають нахил більше 25° до горизонтальної лінії, на один бік яких діє рідкий вантаж або баласт	0,05S (0,5 ≤ ΔS ≤ 1,0)
Горизонтальні поверхні та поверхні, що мають нахил менше 25° до горизонтальної лінії, на один бік яких діє рідкий вантаж або баласт Вертикальні поверхні та поверхні, що мають нахил більше 25° до горизонтальної лінії, на обидва боки яких діє рідкий вантаж або баласт	0,1S (2 ≤ ΔS ≤ 3)
Горизонтальні поверхні та поверхні, що мають нахил менше 25° до горизонтальної лінії, на обидва боки яких діє рідкий вантаж або баласт	0,15S (2 ≤ ΔS ≤ 4)

Момент інерції поперечного перерізу балки таврового профілю можна розрахувати за формулою

$$i = \frac{h^2}{1 + \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F}} \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right].$$

Усі позначення наведені в розд. 3.1 і на рис. 5 даних вказівок.

Ейлерові напруження стінок рамних балок визначаються за формулою

$$\sigma_e = 7,83 \left(\frac{S_c}{h_c} \right)^2 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad (1.6.5.4-3)$$

де h_c – висота стінки рамної балки, мм; S_c – товщина стінки рамної балки, мм, зменшена на величину ΔS , табл. (1.6.5.5-2).

Стійкість пояса рамної балки повинна перевірятись, якщо $b_{\Pi} / S_{\Pi} \geq 15$,

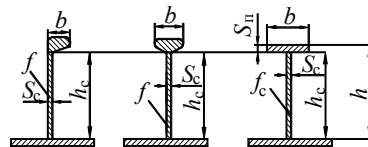


Рис. 6

де b_{π} – відстань від стінки балки до вільної кромки пояса, мм (для таврового профілю балки – половина ширини пояса); S_{π} – товщина вільного пояса, мм, зменшена на величину ΔS , табл. (1.6.5.5-2).

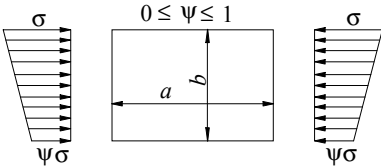
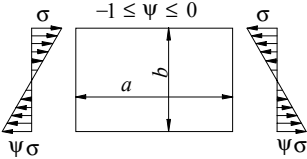
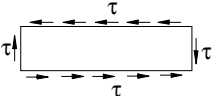
Ейлерові нормальні та дотичні напруження листових елементів визначаються як для прямокутних пластин за формулами:

$$\sigma_e = 0,854n \left(\frac{S'}{b} \right)^2 \text{ МПа;} \quad (1.6.5.5-1)$$

$$\tau_e = 0,854n \left(\frac{S'}{b} \right)^2 \text{ МПа,} \quad (1.6.5.5-2)$$

де S' – фактична товщина пластини, мм, зменшена на величину ΔS , згідно з табл. (1.6.5.5-2); n – коефіцієнт, який залежить від виду навантаження пластини та відношення боків, табл. (1.6.5.5-1); b – бік пластини, м, перпендикулярний напрямку дії нормальних стискальних напружень.

Таблиця (1.6.5.5-1)

Вид навантажень	$\gamma = a/b$	n
 $0 \leq \psi \leq 1$	$\gamma > 1$	$\frac{8,4}{\psi + 1,1}$
	$\gamma \leq 1$	$\varepsilon \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2 \cdot \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
 $-1 \leq \psi \leq 0$	$\gamma > 1$	$10\psi^2 - 6,4\psi + 7,6$
	$\gamma \leq 1$	$\varepsilon [10\psi^2 - 14\psi + 1,9(1 + \psi) \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2]$
	$\gamma > 1$	$5,34 + \frac{4}{\gamma^2}$

При дії дотичних напружень за b беруть менший бік пластини, м.

Величину зменшення товщини елемента конструкції ΔS , мм, при перевірці стійкості даного елемента беруть з табл. (1.6.5.5-2).

У табл. (1.6.5.5-2) S – фактична товщина розглядуваного елемента конструкції, мм. В інших випадках, не передбачених табл. (1.6.5.5-2), $\Delta S = 0$.

У табл. (1.6.5.5-1) ψ – коефіцієнт, який враховує ступінь нерівномірності стискання кромки пластин; $\epsilon = 1,30$ для пластини, підкріпленої флорами або рамним набором; $\epsilon = 1,21$ для пластини, яка підкріплена балками кутового, симетричного штабобульбового або таврового профілю; $\epsilon = 1,1$ для пластини, підкріпленої балками штабобульбового профілю; $\epsilon = 1,05$ для пластини, яка підкріплена балками штабового профілю.

Згідно з формулами (1.6.5.5-1) і (1.6.5.5-2), товщина пластин, виходячи з умови стійкості, повинна бути не менша від визначеної за формулами:

$$S \geq b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854n}} + \Delta S; \quad S \geq b \sqrt{\frac{\tau_e}{0,1854n}} + \Delta S,$$

де n – коефіцієнт, який беруть з табл. (1.6.5.5-1), а ΔS – з табл. (1.6.5.5-2).

Розміри ребер жорсткості, які підкріплюють стінки балок рамного набору, визначаються в залежності від їх напрямку:

а) момент інерції ребер жорсткості, паралельних вільному пояску рамної балки (рис. 7,а), повинен бути не менший від розрахованого за формулою

$$i = 2,35 \frac{(f + 10aS)l^2}{\eta} \text{ см}^4, \quad (1.6.5.6-2)$$

де a – відстань між ребрами жорсткості, м; S – товщина стінки рамної балки, мм; f – фактична площа поперечного перерізу ребра жорсткості, см²; l – прогін ребра жорсткості, м; η – коефіцієнт (див. табл. 2.1);

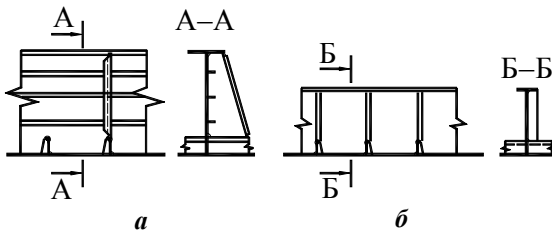


Рис. 7

б) момент інерції ребер жорсткості, перпендикулярних до вільного пояса рамної балки (див. рис. 7,б), повинен бути не менший від розрахованого за формулою

$$i = \gamma a S^3 \cdot 10^{-3}, \quad (1.6.5.6-1)$$

де γ – коефіцієнт, який визначається за табл. (1.6.5.6) в залежності від відношення висоти стінки рамної балки h , см, до відстані a , см, між ребрами жорсткості; S – фактична товщина стінки рамної балки, мм.

Таблиця (1.6.5.6)

h/a	1,0 і менше	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
γ	0,3	0,6	1,3	2,0	2,9	4,1	8,0	12,4	16,8	21,2

Проміжні значення γ визначаються лінійною інтерполяцією.

3.4. Вимоги до конструкцій з'єднання балок набору

З'єднання балок набору, як правило, повинне виконуватись у стик. Розміри книць c , см, які з'єднують балки основного набору, знаходяться за формулою

$$c = 5 \sqrt{\frac{W}{S}}, \quad (1.7.2.2.1)$$

де W – момент опору перерізу балки, см^3 , який вимагається Правилами; S – товщина книць, мм, яку беруть рівною товщині стінки балки, що закріплюється.

Товщина книць може бути зменшена на 1 мм, якщо товщина стінки перевищує 7 мм, і на 2 мм, якщо перевищує 12 мм. Якщо книця з'єднує балки різного профілю, то при розрахунках її розмірів використовуються характеристики меншого з двох профілів.

Висота книць h повинна бути не менше $0,7c$. При довжині вільної кромки книць l більшій $45S$ (S – товщина книць, мм) вільна кромка підкріплюється фланцем або пояском. Ширина фланця повинна бути не менше 50 мм, ширина пояса – не менше 75 мм. Вона повинна також відповідати вимогам формули

$$b = \frac{200S_{\text{п}}}{R_{\text{сН}}} \text{ мм}, \quad (1.7.3.1)$$

де $S_{\text{п}}$ – товщина пояса рамної балки, мм, яка не повинна перевищувати потрійну товщину стінки.

Товщина пояска книці не повинна бути меншою від товщини книці (рис. 8).

З'єднання балок рамного набору рекомендується виконувати закругленими кницями. Висота, ширина книці і радіус закруглення повинні бути не менші за висоту стінки меншої зі з'єднувальних балок. Книці по вільній кромці повинні мати поясок або фланець. Ширина вільного пояска рамної балки, виміряна від стінки балки, повинна бути не більша, ніж у формулі (1.7.3.1).

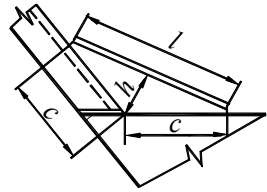


Рис. 8

Стінки рамних балок підкріплюються ребрами жорсткості, кницями або бракетами (див. рис. 7,б) при $\frac{h}{S_c} > 60\sqrt{\eta}$, де h – висота стінки балки,

мм; S_c – товщина стінки балки, мм. При $\frac{h}{S_c} \geq 160\sqrt{\eta}$ стінки рамних балок підкріплюються ребрами жорсткості, паралельними вільному пояску рамної балки (див. рис. 7,а) і встановленими на відстані a , мм, одне від одного, при цьому $a \leq 90S_c\sqrt{\eta}$.

Перпендикулярні до вільного пояска рамної балки ребра жорсткості, що підтримують балки основного набору, повинні бути встановлені не далі ніж у площині кожної другої балки основного набору (див. рис. 7,б).

Моменти інерції i , см⁴, ребер жорсткості визначаються відповідно до розд. 3.3, а їх товщина повинна бути не менше $0,8S_c$. Сумарна висота вирізів в одному перерізі не повинна перевищувати 0,5 висоти балки. Для рамних бімсів, карлінгсів і рамних балок водонепроникних перегородок величина вирізів може бути збільшена до 0,6 висоти балки.

4. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

4.1. Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря

Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря визначаються статичним (P_{st}) і хвильовим (P_w) тиском води. Розрахунковий статичний тиск P_{st} , кПа, для точок, які розташовані нижче ватерлінії, визначається за формулою

$$P_{st} = 10z_i,$$

де z_i – відстань точок прикладання навантаження від ватерлінії, м (рис. 9,а).

Розрахунковий тиск для точок прикладання навантаження, розташованих нижче ватерлінії, визначається за формулою

$$P = P_{st} + P_w \text{ кПа}; \quad (1.3.2.1-1)$$

для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії, –

$$P = P_w \text{ кПа}. \quad (1.3.2.1-2)$$

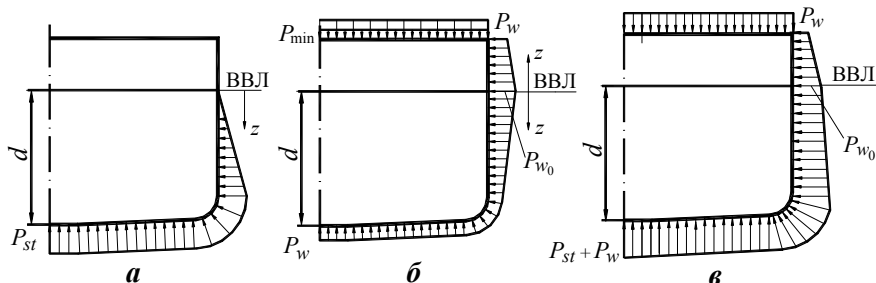


Рис. 9

Хвильовий тиск:

для точок прикладання навантажень, розташованих нижче ватерлінії, розраховується за формулою

$$P_w = P_{w0} - 1,5 C_w z_i / d \text{ кПа}; \quad (1.3.2.2-1)$$

для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії, –

$$P_w = P_{w0} - 7,5 a_x z_i \geq P_{\min} = 0,03L + 5 \text{ кПа}. \quad (1.3.2.2-2)$$

У формулі (1.3.2.2-2)

$$P_{w0} = 5 C_w a_v a_x,$$

де

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \text{ при } 90 < L < 300 \text{ м}; \quad (1.3.1.4)$$

$$C_w = 10,75 \text{ при } 300 \leq L \leq 350 \text{ м};$$

$$a_v = \frac{0,8 V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5; \quad a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267,$$

де V_0 – специфікаційна швидкість судна, вуз.; $k_x = 0,8$ для поперечних перерізів у ніс від міделя; $k_x = 0,5$ для поперечних перерізів у корму від міделя; x_1 – відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього (носового або кормового) перпендикуляра, м.

Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6.

Розподіл навантажень P_{st} , P_w і $P_{st} + P_w$ по контуру поперечного перерізу судна показаний на рис. 9.

4.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на конструкції вантажного трюму навалочного судна визначається з урахуванням сил інерції за формулою

$$P_b = \rho_b g k_b \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i \geq 20 \text{ кПа}, \quad (1.3.4.3)$$

де ρ_b – питома вага вантажу, т/м³; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; z_i – відстань по вертикалі розглядуваної точки прикладання навантаження від рівня вільної поверхні вантажу, м; $k_b = \sin^2 \alpha \tan^2 (45^\circ - \varphi_{в.т} / 2) + \cos^2 \alpha$ або $k_b = \cos \alpha$, в залежності від того, що більше; α – кут нахилу стінки до основної площини, град (рис. 10); $\varphi_{в.т}$ – кут внутрішнього тертя навалочного вантажу, град; a_z – розрахункове прискорення, м/с², у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{кz}^2 + 0,4a_{бз}^2}; \quad (1.3.3.1-1)$$

a_{cz} – проекція прискорення, м/с², центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці; $a_{кz}$, $a_{бз}$ – проекції прискорень, м/с², на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кільової та бортової качок.

Проекції прискорень визначаються за формулами:

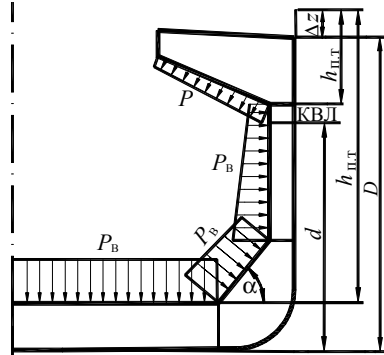


Рис. 10

$$\left. \begin{aligned} a_{cz} &= 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g; \\ a_{kz} &= \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \psi x_0; \\ a_{\delta z} &= \left(\frac{2\pi}{T_\delta} \right)^2 \theta y_0, \end{aligned} \right\} \quad (1.3.3.1-2)$$

де

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}; \quad T_\delta = \frac{cB}{\sqrt{h}}; \quad (1.3.3.1-3)$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}}; \quad (1.3.3.1-4)$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}}, \quad (1.3.3.1-5)$$

де T_k, T_δ – періоди кильової та бортової качок, с, відповідно; ψ, θ – розрахункові кути диференту і крену, град, відповідно; x_0 – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м (рис. 11); y_0 – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м; V_0 – специфікаційна швидкість судна, вуз; $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт; $h = 0,07B$ – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

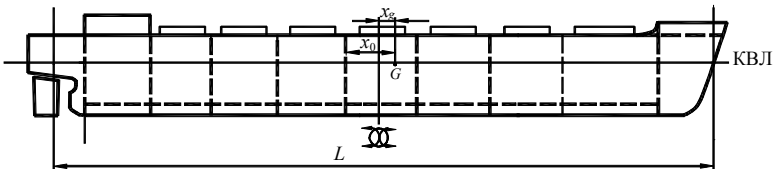


Рис. 11

Розрахунковий тиск, кПа, на внутрішнє дно визначається за формулою (1.3.4.3) при $k_b = 1,0$.

Випробувальний тиск, кПа, на внутрішнє дно визначається за формулою

$$P_{\text{вип}} = 7,5 h_{\text{п.т}},$$

де $h_{\text{п.т}}$ – відстань, м, від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки (див. рис. 10).

Висота повітряної трубки від настилу верхньої палуби $\Delta z = 1,5$ м для баластних цистерн корпусу судна.

Розрахунковий тиск на конструкцію підпалубної цистерни, якщо вона заповнена баластом, визначається за формулою

$$P = 0,75 \rho g(z_i + \Delta z), \quad (1.3.4.2-4)$$

де z_i – відстань, м, виміряна в діаметральній площині, від розглядуваної в'язі до верхньої палуби.

5. ЗАГАЛЬНА ПОЗДОВЖНЯ МІЦНІСТЬ СУДНА

Для розрахунку загальної поздовжньої міцності корпусу судна необхідно визначити за стандартними програмами згинальні моменти M_{sw} і перерізуючі сили N_{sw} на тихій воді для основних випадків навантаження судна, причому розрахунковий згинальний момент на тихій воді, одержаний інтегруванням кривої навантаження судна, повинен бути не менший від $M_{sw} = \pm 76 C_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}$ кН·м, де згинальні моменти, які викликають перегин корпусу судна, вважаються додатними, а прогин – від'ємними.

Хвильовий згинальний момент, який викликає перегин корпусу судна, визначається за формулою

$$M_w = 190 C_w BL^2 C_b \cdot 10^{-3} \text{ кН·м}, \quad (1.4.4.1-1)$$

а хвильовий згинальний момент, який викликає прогин корпусу судна, –

$$M_w = -110 C_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ кН·м}, \quad (1.4.4.1-2)$$

де C_w – хвильовий коефіцієнт згідно з виразом (1.3.1.4); C_b – коефіцієнт загальної повноти судна ($C_b \geq 0,6$).

Момент опору поперечного перерізу корпусу судна (для палуби і днища) в середній частині повинен бути не менший за

$$W = \frac{M_T}{\sigma} \cdot 10^3 \text{ см}^3, \quad (1.4.6.2)$$

де $M_T = |M_{sw} + M_w|$ – розрахунковий згинальний момент, кН·м, у розглядуваному перерізі судна, який дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових моментів M_{sw} і M_w ; $\sigma = \frac{175}{\eta}$ – допустимі напруження, МПа; η – коефіцієнт (див. розд. 2.4).

Момент опору поперечного перерізу корпусу в середній частині судна (для палуби та днища) повинен бути не менший за

$$W_{\min} = C_w BL^2(C_b + 0,7)\eta \text{ см}^3. \quad (1.4.6.7-1)$$

Момент інерції поперечного перерізу корпусу в середній частині судна повинен бути не менший за

$$I_{\min} = 3C_w BL^3(C_b + 0,7) \text{ см}^4. \quad (1.4.6.9)$$

Одержані величини W та I використовуються для порівняння з геометричними характеристиками еквівалентного бруса, які розраховані для міделєвого перерізу корпусу судна.

Після розрахунку геометричних характеристик еквівалентного бруса спроектованого конструктивного мідель-шпангоута судна перевіряється товщина S бортової обшивки, яка повинна бути не меншою визначеної за формулою

$$S = \frac{0,5(N_{sw} + N_w)}{\tau} \frac{S_{\Phi}^*}{I} \cdot 10^2 \text{ мм}, \quad (1.4.7.1)$$

де N_{sw} – перерізуюча сила, кН, на тихій воді, найбільше абсолютне значення якої для розглядуваного перерізу визначається за стандартними програмами (в курсовому проекті взяти $N_{sw} = \pm 30C_w BL(C_b + 0,7)f_3 \cdot 10^{-2}$); S_{Φ}^* – фактичний статичний момент частини розглядуваного поперечного перерізу корпусу, що розташована вище або нижче рівня, для якого визначається товщина стінки, см³; $\tau = 110/\eta$, МПа (η – визначається за табл. 2.1); I – фактичний момент інерції розглядуваного поперечного перерізу корпусу відносно нейтральної осі, см⁴; N_{sw} – хвильова перерізуюча сила, кН, яка визначається за формулами:

$$\text{додатна сила} \quad N_w = 30C_w BL(C_b + 0,7)f_1 \cdot 10^{-2}; \quad (1.4.4.2-1)$$

$$\text{від'ємна сила} \quad N_w = -30C_w BL(C_b + 0,7)f_2 \cdot 10^{-2}, \quad (1.4.4.2-2)$$

де $f_1 = 1,0$; $f_2 = 0,92$; $f_3 = 0,74$.

6. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ

6.1. Проектування листових конструкцій корпусу

Корпус судна – це складна система, що може бути поділена на дві структури: *листову* (обшивки, настили) і *балкову* (судновий набір). Кожне полотнище обшивки або настилу складається з простих конструкцій – поясів. *Пояс* – конструкція з листів, послідовно з'єднаних короткими бочками.

Розрахунковою моделлю листових конструкцій є *пластина* – частина полотна, яка з чотирьох боків обмежена опорним контуром, що утворюється балками суднового набору.

Більшість пластин має чітко виражену прямокутну форму та розподілене нормальне навантаження, яке викликає прогинання пластин за циліндричною поверхнею. Розрахунок листових конструкцій полягає у визначенні товщини листів, а ширина та довжина їх залежать від умов прокату та технічних можливостей суднобудівного заводу.

6.1.1. Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Зовнішня обшивка складається з обшивки борту і дна. Проектування листових конструкцій починається з розподілу на пояси зовнішньої обшивки корпусу, настилу внутрішнього дна, настилу верхньої палуби, обшивок підпалубних та скулових бортових цистерн (рис. 12).

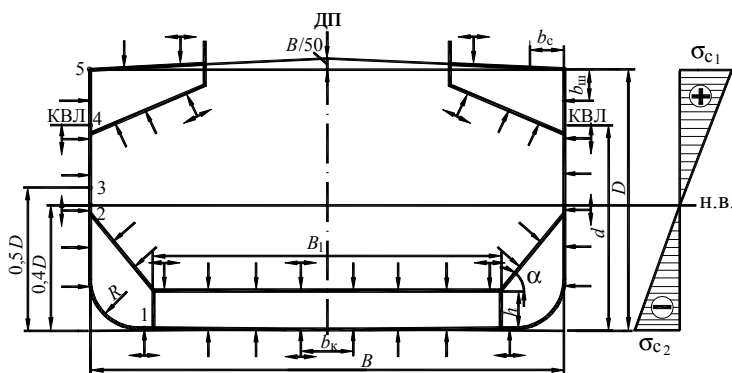


Рис. 12

Ширина горизонтального кіля знаходиться за формулою (2.2.4.4) і не може бути більше 2000 мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки дна. Ширина скулового поясу визначається положенням верхньої та нижньої кромок скули, там, де поєднуються плоскі частини обшивки з криволінійними. Товщину скулового поясу беруть рівною товщині обшивки дна або товщині надскулового поясу, в залежності від того, що більше.

Ширину ширстрека беруть рівною ширині горизонтального кіля, а його товщину рівною товщині палубного стрингера або підширстрекового поясу борту, в залежності від того, що більше. Якщо застосовується закруглене з'єднання палуби з бортом, то радіус закруглення ширстрека повинен бути не менше $15S_{ш}$, де $S_{ш}$ – товщина ширстрека, мм.

Ширину інших поясів беруть якомога більшою, щоб зменшити обсяг зварювальних робіт, але вона має відповідати технічним можливостям суднобудівного заводу.

Пази зовнішньої обшивки не повинні збігатися з лініями дотику до неї будь-яких поздовжніх в'язей.

Товщина зовнішньої обшивки відповідно до умов міцності визначається за формулою (1.6.4.4), де $m = 15,8$; k_{σ} – коефіцієнт, наведений в табл. 6.1. Інші позначення наведені в розд. 3.1.

Таблиця 6.1

Обшивка дна	Поздовжня система набору	$k_{\sigma} = 0,6$
Обшивка борту	(0,4...0,5) D від основної площини	$k_{\sigma} = 0,6$
	На рівні верхньої палуби	$k_{\sigma} = 0,3k_D \leq 0,6$

Для обшивки борту нижче рівня 0,4 D $k_{\sigma} = 0,6$; для обшивки борту вище рівня 0,5 D k_{σ} визначається лінійною інтерполяцією між k_{σ} на рівні верхньої палуби і k_{σ} в межах (0,4...0,5) D .

Коефіцієнт k_D розраховується за формулою

$$k_D = \frac{W_D^{\Phi}}{W}, \quad (2.2.4.1)$$

де W – необхідний за Правилами момент опору корпусу, см^3 , в середній частині судна згідно з розд. 5; W_D^{Φ} – фактичний момент опору палуби в середній частині судна, см^3 . При виконанні курсового проекту слід взяти

$$W_D^{\Phi} = W.$$

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки за умовами міцності наведено в табл. 6.2 (див. рис. 12).

Таблиця 6.2

Розрахункові величини та позначення	Обшивка дна	Обшивка борту на рівні 0,4D	Обшивка борту на рівні 0,5D	Обшивка борту на рівні конструктив- ної ватерлінії	Обшивка борту на рівні верхньої палуби
	Розрахункові точки				
	1	2	3	4	5
Менший розмір пластини a , м					
Більший розмір пластини b , м					
Відношення a/b					
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5a/b$					
Розрахунковий тиск P , кПа					
Коефіцієнт k_σ					
$S' = 15,8ak \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \sigma_n}}$ мм					
Додаток товщини ΔS , мм					
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$ мм					

Стійкість зовнішньої обшивки дна та ширстрека розраховується відповідно до розд. 3.3.

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2$ – момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, см⁴; z_i – відстань розрахункової точки від нейтральної осі, м; W_d – момент опору палуби в середній частині судна, см³ (див. формулу (1.4.6.2)); D – висота борту, м; e – відстань нейтральної осі від основної площини, м (в курсовому проєкті слід брати $e = (0,34 + 0,02L \cdot 10^{-2})D$).

За розрахунковий згинальний момент для зовнішньої обшивки дна

беруть момент, що викликає перегин корпусу, а для ширстрєка – момент, який викликає прогин корпусу.

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k\sigma_c$ визначаються за умови стійкості пластин зовнішньої обшивки, при цьому $k = 1,0$ – коефіцієнт запасу стійкості для пластин.

Відношення σ_{cr}/R_{eH} визначає формулу для розрахунку ейлерових напружень:

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{eH} \leq 0,5 \quad \sigma_e = \sigma_{cr};$$

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{eH} > 0,5 \quad \sigma_e = 0,25R_{eH}^2/(R_{eH} - \sigma_{cr}).$$

Товщина пластини зовнішньої обшивки, яка відповідає умовам стійкості, знаходиться за формулою

$$S = b\sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854n}} + \Delta S \text{ мм},$$

де b – бік пластини, що сприймає нормальні стискальні напруження, м; n – коефіцієнт, що враховує співвідношення боків пластини і розподіл нормальних стискальних напружень уздовж кромки пластини (див. табл. (1.6.5.5-1)); ΔS – додаток товщини на знос і корозію, мм (див. табл. (1.6.5.5-2)).

Розрахунок товщини S , мм, листових конструкцій зовнішньої обшивки на стійкість наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна		Ширстрек	
M_{sw} , кН·м				
M_w , кН·м				
Розрахунковий момент $M_T = M_{sw} + M_w$, кН·м				
z_i , м				
σ_c , МПа				
$\sigma_{cr} = k\sigma_c$, МПа				
σ_{cr}/R_{eH}				
σ_e , МПа				
a , м				
b , м				
$\gamma = a/b$				

Продовж. табл. 6.3

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна		Ширстрек	
ψ – коефіцієнт із табл. (1.6.5.5-1)				
n				
$S' = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854n}}$ мм				
ΔS – додаток з табл. (1.6.5.5-2), мм				
$S = S' + \Delta S$ мм				

Мінімальна будівельна товщина зовнішньої обшивки повинна бути не менша від

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04L)\sqrt{\eta} \text{ мм при } L \geq 30 \text{ м.} \quad (2.2.4.8)$$

Товщина бортової обшивки одинарного борту в районі між скулови-ми та підпалубними цистернами $S_{\min}$, мм, повинна бути не менша від $S_{\min} = \sqrt{L}$, де L – довжина судна, м.

6.1.2. Проектування настилу верхньої палуби

Верхня палуба навалочного судна має центральні люки, ширина яких не перевищує 0,5...0,6 ширини судна (рис. 13). Товщина листів настилу цієї розрахункової палуби між бортом і поздовжнім комінгсом люка з ура-хуванням поздовжніх палубних балок основного та рамного набору по-винна забезпечити момент опору W_d поперечного перерізу корпусу суд-на.

Якщо товщину настилу розрахункової палуби беруть меншою від товщини борту, то передбачається палубний стрингер. Його ширина ви-значається за формулою

$$b_c = 5L + 800 \leq 1800 \text{ мм.} \quad (2.6.4.1.4)$$

Товщину палубного стрингера беруть не меншу від товщини обшивки борту. Товщина настилу верхньої палуби відповідно до умов міцності визна-чається за формулою (1.6.4.4), де $P = 0,7P_w$; $P \geq P_{\min}$; $P_{\min} = 0,015L + 7$ в середній частині корпусу судна; P_w – хвильовий тиск, кПа (див. розд. 4.1); $k_{\phi} = 0,6$ для поздовжньої системи набору; ΔS – додаток на знос і коро-зцію, мм.

Стійкість пластин настилу верхньої палуби розраховується згідно з розд. 3.3. Розрахункові стискальні напруження визначаються за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

де за розрахунковий згинальний момент беруть момент, що викликає прогин корпусу. Далі розрахунок виконують за табл. 6.3.

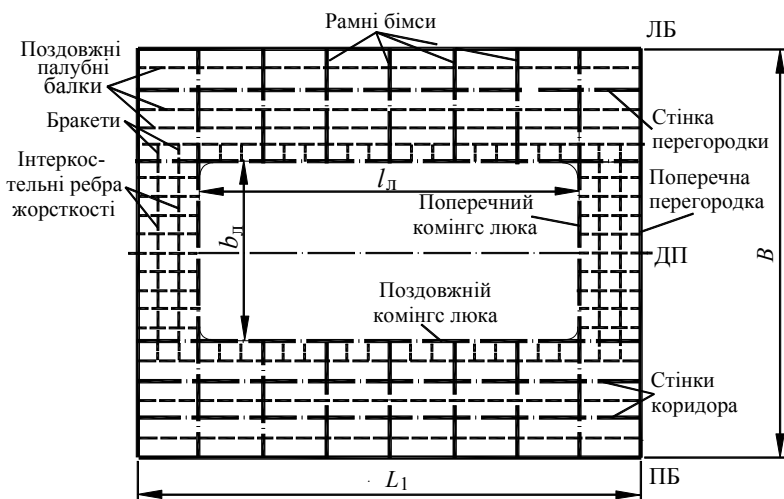


Рис. 13

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менша від $S_{\min} = (7 + 0,02L) \sqrt{\eta}$ мм при $L > 100$ м.

6.1.3. Проектування обшивки похилої стінки підпалубної цистерни

Набір підпалубної цистерни виконується за поздовжньою системою. Товщина листів обшивки підпалубної цистерни відповідно до умов міцності визначається за формулою (1.6.4.4).

Розрахунок товщини листів виконується як в табл. 6.2. Обирається більший розрахунковий тиск P , кПа, з таких умов: $P_{\text{вип}} = 7,5 h_{\text{п.т}}$ – випробувальний тиск, кПа; $P = 0,75 \rho g(z_i + \Delta z)$ (1.3.4.2-4) – тиск баласту, де $h_{\text{п.т}}$ – віддаленість, м, обшивки підпалубної цистерни від верху повітряної

трубки (див. рис. 10); z_i – відстань, м, виміряна в діаметральній площині, від розглядуваної в'язі до верхньої палуби; Δz – висота повітряної трубки, яка дорівнює 1,5 м для баластних цистерн навалочного судна; k_σ – визначається згідно з табл. 6.4 лінійною інтерполяцією; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (розд. 3.2). Інші позначення наведені в розд. 3.1.

Таблиця 6.4

Обшивка підпалубної цистерни	На рівні верхньої палуби	$k_\sigma = 0,55 k_D \leq 0,8$
	$(0,4 \dots 0,5)D$ від основної площини	$k_\sigma = 0,8$

Стійкість пластин обшивки підпалубної цистерни розраховується згідно з розд. 3.3. За розрахунковий згинальний момент беруть момент, що викликає прогин корпусу судна. Розрахунок виконується, як в табл. 6.3.

Мінімальна будівельна товщина обшивки похилої стінки підпалубної цистерни повинна бути не менша від $S_{\min} = 10 + 0,025L$ (3.3.4.5). При $L > 200$ м береться $L = 200$ м.

6.1.4. Проектування настилу внутрішнього дна

Товщина листів настилу внутрішнього дна відповідно до умов міцності визначається за формулою (1.6.4.4).

Для настилу внутрішнього дна обирають більший розрахунковий тиск P , кПа, з таких умов: P_b – розрахунковий тиск, кПа, від навалочного вантажу (див. формулу (1.3.4.3), розд. 4.2); $P_{\text{вип}} = 7,5h_{\text{п.т}}$ – випробувальний тиск, кПа; $P = 0,75\rho g(z_i + \Delta z)$ (1.3.4.2-4) – тиск баласту; $P_{a.3} = 10,5(d - h)$ – тиск аварійного затоплювання, кПа; $h_{\text{п.т}}$ – віддаленість, м, настилу внутрішнього дна від верху повітряної трубки; h – фактична висота подвійного дна, м. Якщо в міждонних цистернах інша рідина, то розрахунковий тиск $P = \rho_b g z_i + P_k$ (1.3.4.2-5), де ρ_b – питома вага рідини, т/м³; $P_k = 15$ кПа – тиск запобіжного клапана.

Коефіцієнт допустимих напружень $k_\sigma = 0,8$ для поздовжньої системи набору. ΔS – додаток на знос і корозію, мм (розд. 3.2). Інші позначення наведені в розд. 3.1.

Розрахунок товщини листів настилу внутрішнього дна за умовою стійкості виконується аналогічно розрахунку товщини листів зовнішньої обшивки дна (див. табл. 6.3).

Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою

$$S_{\min} = (5 + 0,035L)\sqrt{\eta} \text{ при } L > 80 \text{ м.} \quad (2.4.4.4.2)$$

6.1.5. Проектування обшивки похилої стінки бортової скулової цистерни

Набір бортової скулової цистерни навалочного судна може бути виконаний за поперечною або поздовжньою системою.

Незалежно від системи набору бортової скулової цистерни товщина листів обшивки похилої стінки відповідно до умов міцності визначається за формулою (1.6.4.4).

Розрахунок товщини листів виконується, як в табл. 6.2. Обирається більший розрахунковий тиск P , кПа, як в розд. 6.1.4. Коефіцієнт допустимих напружень $k_{\sigma} = 0,8$; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (розд. 3.2). Інші позначення наведені в розд. 3.1.

Якщо для бортової скулової цистерни обрано поперечну систему набору, то листи обшивки цистерни перевіряють на стійкість (див. розд. 3.3) за формою табл. 6.3 аналогічно перевірці листів настилу внутрішнього дна. Якщо система набору цистерни поздовжня, то на стійкість обшивку цистерни не перевіряють.

Товщина нижнього листа обшивки бортових скулових цистерн повинна бути не менша товщини листа настилу внутрішнього дна, до якого він примикає.

Мінімальна будівельна товщина листів обшивки бортової скулової цистерни повинна бути не менша від

$$S_{\min} = (7 + 0,035L)\sqrt{\eta}, \quad (3.3.4-2)$$

де η – коефіцієнт (див. табл. 2.1 розд. 2.3).

У табл. 6.5 наведена схема проектування листових конструкцій з урахуванням вимог міцності, стійкості та регламентованих Правилами мінімальних товщин. Одержані величини слід розглядати як результат першого наближення. Товщина деяких листових конструкцій може бути збільшена з урахуванням загальної поздовжньої міцності та уніфікації листового прокату.

6.2. Проектування конструкцій набору подвійного дна

Набір подвійного дна навалочного судна розташований між настилом внутрішнього дна та зовнішньою обшивкою. Опорним контуром днищового перекриття є дві суміжні поперечні перегородки і дві бортові скулові цистерни, які виготовляються як окремі модулі корпусу судна.

Зверху днищеве перекриття сприймає великий тиск маси навалочного вантажу, а знизу на нього діє тиск з боку моря, обумовлений знач-

ною осадкою судна. Виникаючі загальний поздовжній згинальний момент і перерізуєча сила додатково ускладнюють роботу днищового перекриття у складі корпусу навалочного судна. Тому проектування конструкцій подвійного дна виконується за поздовжньою системою набору.

Таблиця 6.5

Назва листової конструкції та умовне позначення її товщини	Значення товщини, мм			
	за міцністю	за стійкістю	мінімальне	взяте
Обшивка дна S_d				
Горизонтальний кіль S_k				
Скуловий пояс $S_{ск}$				
Обшивка борту на рівні вантажної ватерлінії $S_{в.вл}$				
Ширстрек $S_{ш}$				
Палубний стрингер $S_{п.с}$				
Настил верхньої палуби $S_{в.п}$				
Настил внутрішнього дна $S_{в.д}$				
Обшивка скулової цистерни $S_{с.ц}$				
Обшивка підпалубної цистерни $S_{п.ц}$				

Основний набір перекриття – це поздовжні балки дна та внутрішнього дна, розташовані через шпацию. Суцільні флори, які є опорами для основного набору, – через дві шпациї. Під поперечними перегородками розміщуються водонепроникні флори.

У діаметральній площині може бути вертикальний кіль. Відстань між вертикальним кілем і днищевим стрингером, або між днищевими стрингерами повинна бути не більше 5,0 м. З урахуванням особливостей навалочного вантажу ця відстань може бути зменшена до 3–4 шпациї для стрингерів біля вертикального кіля.

Замість вертикального кіля може бути розташований тунельний кіль, який конструюється з двох стінок, встановлених з обох боків діаметральної площини. Ширина тунельного кіля повинна бути не більша 1,9 м (рис. 14).

Проектування конструкцій флорів. Суцільний флор має таку ж висоту h , м, у діаметральній площині, як і вертикальний кіль. Посередині висоти флора розміщують лази (рис. 15). Їх вертикальний розмір не повинен перевищувати половину висоти флора.

Товщина суцільного флора визначається за формулою

$$S = \alpha k a \sqrt{\eta} + \Delta S \text{ мм}, \quad (2.4.4.3-1)$$

де $\alpha = 0,023L + 5,8$; a – відстань між ребрами жорсткості, м, яка дорівнює шпациї; η – коефіцієнт (див. табл. 2.1, розд. 2.4); ΔS – додаток на знос і корозію, мм (див. розд. 3.2); $k = k_1 k_2$; k_1 розраховується за табл. (2.4.4.3-1); k_2 визначається за табл. (2.4.4.3-2).

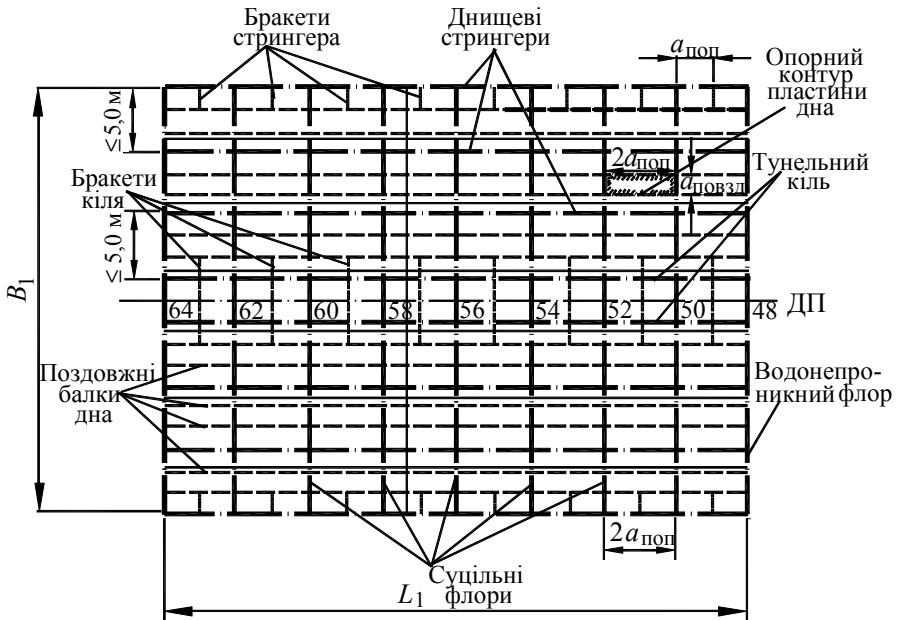


Рис. 14

Таблиця (2.4.4.3-1)

$a_{\text{ф}}/a$	1	2	3	4	5
k_1	1,00	1,15	1,20	1,25	1,30

Таблиця (2.4.4.3-2)

Кількість стрингерів на один борт	0	1	2	3 і більше
k_2	1,0	0,97	0,93	0,88

У табл. (2.4.4.3-1) a_{ϕ} – відстань між суцільними флорами, м; a – шпация, м.

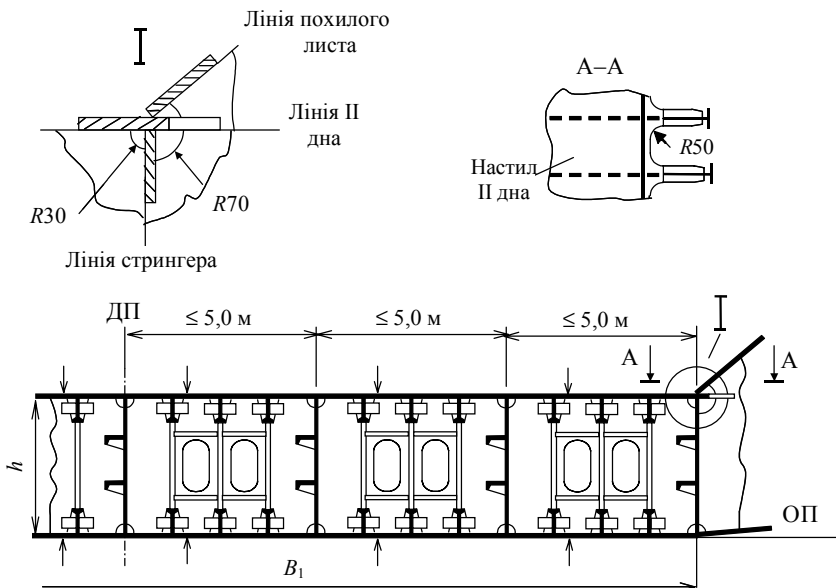


Рис. 15

Лист суцільного флора підкріплюється вертикальними ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна та внутрішнього дна. Товщина ребра жорсткості повинна бути не менше $0,8S$ (S – товщина флора). Момент інерції ребра жорсткості розраховується за формулою (1.6.5.6-1) (див. розд. 3.3), де γ – коефіцієнт, який визначається за табл. (1.6.5.6); a – відстань між ребрами жорсткості, см; S – фактична товщина флора, мм.

Мінімальна будівельна товщина суцільного флора

$$S_{\min} = 0,035L + 6 \text{ мм.} \quad (2.4.4.3.2-2)$$

Товщина водонепроникного флора визначається за формулою (1.6.4.4), де $k = 1,2 - 0,5a/b$; a – відстань між поздовжніми балками, м; b – висота подвійного дна, м; $k_{\sigma} = 0,85$; $m = 15,8$.

Розрахунковий тиск на водонепроникний флор розраховується за формулою

$$P = \rho_{\text{в}} g z_1 + P_{\text{к}},$$

де $P_k = 15$ кПа; ρ_v – питома вага вантажу, баласту або палива, в залежності від того, що більше, т/м³; z_1 – відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти флора, м. Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша ніж товщина суцільного флора.

Якщо водонепроникний флор є опорою похилого листа трапецієдної опори перегородки, то поздовжні балки II дна виконуються розрізаними на цьому флорі та закріпленими до нього за допомогою книць (рис. 16).

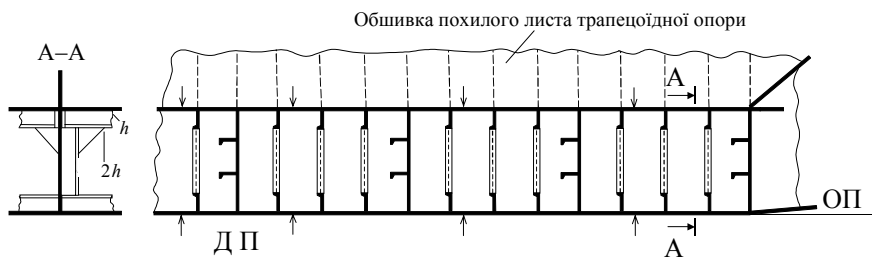


Рис. 16

Ребра жорсткості водонепроникного флора, що приварюються також до балок основного набору подвійного дна, повинні мати момент опору, який розраховується за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$, кН; P – розрахунковий тиск, кПа (береться такий, як у флора); a – відстань між ребрами жорсткості, м; l – довжина ребра жорсткості, м; $m = 10$; $k_\sigma = 0,75$; ω_k – поправка на знос і корозію (див. розд. 3.2).

Мінімальна будівельна товщина елементів конструкцій в подвійному дні повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 \text{ мм при } L > 80 \text{ м.} \quad (2.4.4.9)$$

Проектування конструкцій вертикального (тунельного) кіля.

Вертикальний кіль проектується як водонепроникна поздовжня рамна в'язь. Його висота визначається за формулою

$$h = \frac{L - 40}{570} + 0,04B + 3,5 \frac{d}{L} \geq 0,65 \text{ м.}$$

Стінка вертикального кіля між суцільними флорами підкріплюється вертикальними бракетами, які встановлюються на відстані поперечної шпаци з обох боків кіля та приварюються до неї. Встановлені одне або два горизонтальних ребра жорсткості на стінці вертикального кіля підвищують стійкість його пластин (рис. 17,а).

Товщина стінки вертикального кіля визначається згідно з Правилами за формулою

$$S = \alpha_k h \frac{h}{h_\phi} \sqrt{\eta} + \Delta S \text{ мм}, \quad (2.4.4.2.1)$$

де $\alpha_k = 0,03L + 8,3 \leq 11,2$; h_ϕ – фактична висота вертикального кіля, м; η – коефіцієнт (див. табл. 2.1, розд. 2.4); ΔS – додаток на знос і корозію, мм (див. розд. 3.2).

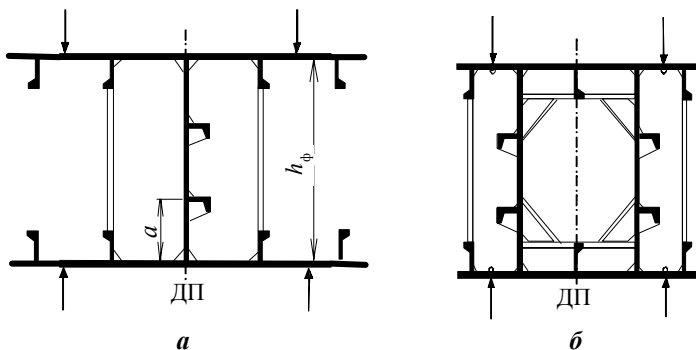


Рис. 17

Товщина вертикального кіля знаходиться також за формулою (1.6.4.4), де $m = 15,8$; $k_\sigma = 0,75$; a – висота панелі, м; b – довжина панелі, м; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами: $P = 0,75 \rho g \times (z_i + \Delta z)$; z_i – відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти нижньої панелі вертикального кіля, м; Δz – висота повітряної трубки, $\Delta z = 1,5$ м; $P = \rho_v g z_1 + P_k$, якщо встановлено запобіжний клапан; $P_k = 15$ кПа – тиск у запобіжному клапані.

Стійкість стінки вертикального кіля повинна бути забезпечена відповідно до розд. 3.3 (рис. 18).

Розрахунок товщини панелі стінки кіля виконується, як в табл. 6.3.

Товщина вертикального кіля повинна бути на 1 мм більша за товщину суцільного

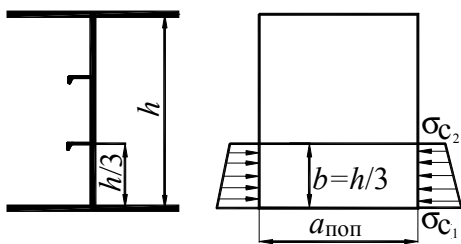


Рис. 18

флора і не менша, ніж

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 0,035L + 5 \text{ мм}; \\ S_{\min} &= 0,025L + 7 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (2.4.4.3.2-1)$$

Товщина вертикального кіля може бути не більша від товщини приєднаних до нього листів зовнішньої обшивки.

Замість вертикального кіля може бути розташований тунельний кіль, який конструюється з двох стінок, установлених з обох боків діаметральної площини. Ширина тунельного кіля не більша 1,9 м (див. рис. 17,б). По дну та настилу внутрішнього дна між стінками тунельного кіля в площині кожного шпангоута необхідно розташувати поперечні балки з кницями або бракети.

У діаметральній площині по дну та внутрішньому дну між поперечними балками тунельного кіля встановлюються поздовжні балки.

Товщина стінок тунельного кіля повинна бути не менше 0,9 товщини стінки вертикального кіля. Тому виконується розрахунок товщини вертикального кіля, а потім визначається товщина стінок тунельного кіля.

Розрахунки моменту опору верхньої та нижньої балок тунельного кіля виконуються аналогічно розрахункам поздовжніх балок основного набору днищового перекриття. Беруть $k_{\sigma} = 0,65$ для нижніх і верхніх балок. Поздовжні балки в діаметральній площині беруть такі, як відповідні поздовжні балки днища та внутрішнього дна.

Проектування конструкцій днищевих стрингерів. Товщина днищового стрингера повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора. Стійкість стінки днищового стрингера необхідно забезпечити відповідно до розд. 3.3. Як правило, стінки днищевих стрингерів підкріплюються горизонтальними ребрами жорсткості, як і вертикальний кіль. Стінка стрингера біля скулової цистерни підкріплюється вертикальною бракетою, як у вертикального кіля (рис. 19).

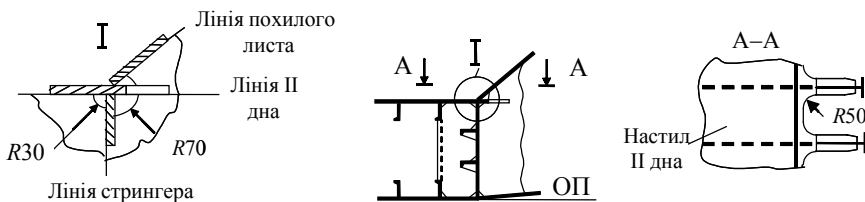


Рис. 19

Мінімальна будівельна товщина стрингера, мм, визначається за формулою

$$S_{\min} = 0,035L + 5 \text{ мм.} \quad (2.4.4.3.2-1)$$

Проектування балок основного набору днища. Поздовжні балки зовнішньої обшивки дна та настилу внутрішнього дна повинні мати момент опору, який визначається в Правилах за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який для балок дна дорівнює $P_{st} + P_w$, див. формулу (1.3.2.1-1), а для балок внутрішнього дна береться, як для настилу подвійного дна; a – шпация, м; l – прогін балок між суцільними флорами, м; $m = 12$; $k_{\sigma} = 0,45k_B \leq 0,65$ для балок дна; $k_{\sigma} = 0,6k_B \leq 0,75$ для балок внутрішнього дна (в курсовому проєкті взяти $k_B = 1,0$); ω_k – поправка на знос і корозію (див. розд. 3.2).

Після розрахунків підбирають відповідний профіль балки. Якщо відношення прогону балки до її висоти менше 10, площу стінки балки потрібно визначити за формулою

$$f_c = \frac{10N_{\max}\omega_k}{k_{\tau}\tau_n}, \quad (1.6.4.3)$$

де $N_{\max} = 0,5Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, на днище або на внутрішнє дно; $k_{\tau} = 0,45k_B$ для нижньої балки; $k_{\tau} = 0,65k_B$ для верхньої балки; $k_B = 1,25$; $\sigma_n = 0,57\tau_n$; ω_k – поправка на знос і корозію.

Стійкість поздовжніх балок повинна бути перевірена відповідно до розд. 3.3.

Мінімальна будівельна товщина стінок балок визначається за формулою

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 \text{ мм.} \quad (2.4.4.9)$$

6.3. Проектування конструкцій бортової скулової цистерни

Бортові скулові цистерни конструктивно завершують дно навалочного судна та є опорами для днищевих і бортових перекриттів в корпусі цього судна.

Кут нахилу обшивки (стінки) бортової скулової цистерни повинен бути не менше 45° , ширина цистерни на рівні внутрішнього дна – не менше $0,125B$.

Система набору скулової цистерни може бути поперечною або поздовжньою. При поперечній системі (рис. 20) обшивка (стінка) скулової

цистерни підкріплюється в площині шпангоутів поперечними рамними в'язями, які з подібними конструкціями підкріплення скулового та днищевго поясів зовнішньої обшивки утворюють в цистерні поперечну діафрагму (рис. 21).

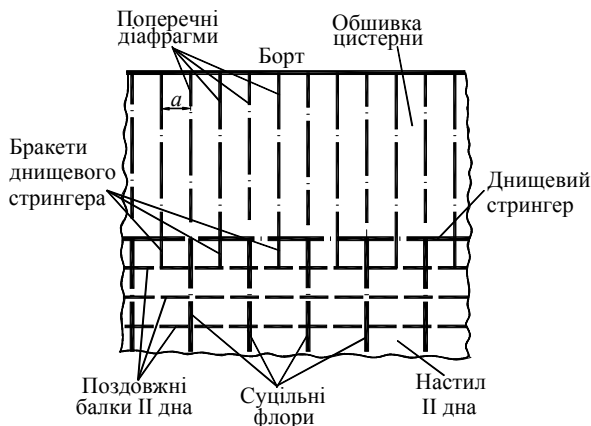


Рис. 20

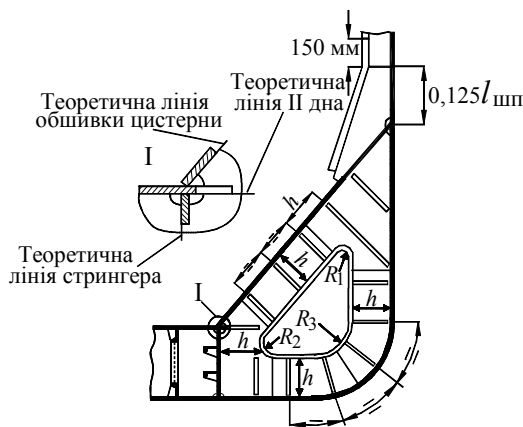


Рис. 21

Момент опору поперечного перерізу рамної балки обшивки (стінки) цистерни визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається аналогічно тиску на настил внут-

рішнього дна; a – шпация, м; l – прогін рамної балки, м; $k_\sigma = 0,6$; $m = 10$; ΔW – додаток на знос і корозію, см³ (див. розд. 3.2). Після розрахунків підбирають відповідний профіль балки. Якщо відношення прогону балки до її висоти менше 10, площу стінки балки потрібно визначити за формулою

$$f_c = \frac{10N_{\max}}{k_\tau \tau_n} + 0,1h\Delta S, \quad (1.6.4.3)$$

де $N_{\max} = 0,5Pal$ кН; $k_\tau = 0,6k_B$; $k_B = 1,25$; $\tau_n = 0,57\sigma_n$; h – висота стінки балки, см; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (див. розд. 3.2).

Товщина стінки балки повинна бути не менша товщини суцільного флора. Стінка балки підкріплюється ребрами жорсткості, які розташовані з одного боку стінки на відстані одне від одного, що дорівнює висоті стінки балки. Товщина ребра дорівнює товщині стінки, висота – десяти товщинам ребра жорсткості.

При поздовжній системі (рис. 22) обшивка (стінка) скулової цистерни підкріплюється поздовжніми балками основного набору, які розташовані через шпацию. Опори для цих балок – поперечні діафрагми, які розташовані в площині суцільних флорів (рис. 23, 24). Момент опору балок основного набору повинен бути не меншим визначеного за формулами (1.6.4.1), (1.6.4.2), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається так, як для настилу внутрішнього дна; a – поздовжня шпация, м; l – прогін балки, м; $m = 12$; $k_\sigma = 0,5$; ω_k – поправка на знос і корозію (розд. 3.2).

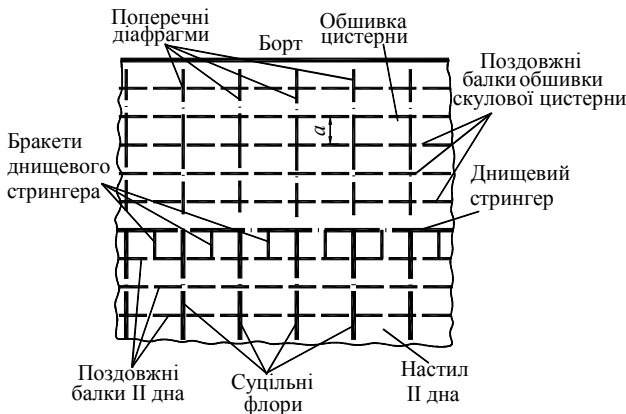


Рис. 22

Стійкість поздовжніх балок повинна бути перевірена відповідно до розд. 3.3.

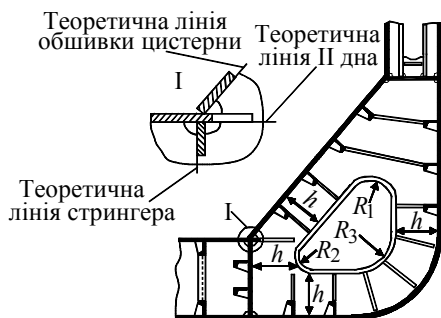


Рис. 23

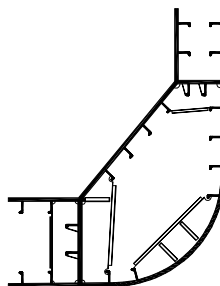


Рис. 24

Мінімальна будівельна товщина стінок балок визначається за формулою (2.4.4.9).

Момент опору поперечного перерізу рамної поперечної балки, яка разом з бортовою та днищевою рамними балками утворює поперечну діафрагму, визначається так, як для рамної балки скулової цистерни, що набрана за поперечною системою.

Підібраний профіль цієї балки перевіряється на відповідність площі стінки балки за формулою

$$f_c = \frac{10N_{\max}}{k_\tau \tau_n} + 0,1h\Delta S, \quad (1.6.4.3)$$

де величини $N_{\max}$, k_τ , τ_n , ΔS розраховуються так, як для рамної балки скулової цистерни, що набрана за поперечною системою.

Стінка рамної балки підкріплюється ребрами жорсткості під кожною балкою основного набору. Розміри ребра жорсткості такі, як у рамної балки цистерни, що набрана за поперечною системою.

Бортова і днищева рамні балки скулової цистерни, що утворюють поперечну діафрагму, беруться за конструкцією такі, як рамна балка обшивки скулової цистерни (див. рис. 23).

6.4. Проектування конструкцій бортового переkritтя

Бортове переkritтя в корпусі навалочного судна розташоване між бортовими скуловою та підпалубною цистернами.

На навалочних судах довжиною до 150 м бортове переkritтя оди-
нарне і виконується за поперечною системою набору (рис. 25, де 1 –

підпалубна цистерна, поздовжня система; 2 – бортове одинарне перекриття, поперечна система; 3 – скульова цистерна, поперечна система).

Подвійний борт на суднах довжиною більше 150 м може бути виконаний за поперечною (рис. 26, де 1 – підпалубна цистерна, поздовжня система; 2 – бортове подвійне перекриття, поперечна система; 3 – скульова цистерна, поперечна система) або за поздовжньою (рис. 27, де 1 – підпалубна цистерна, поздовжня система; 2 – бортове подвійне перекриття, поздовжня система; 3 – скульова цистерна, поздовжня система) системами набору.

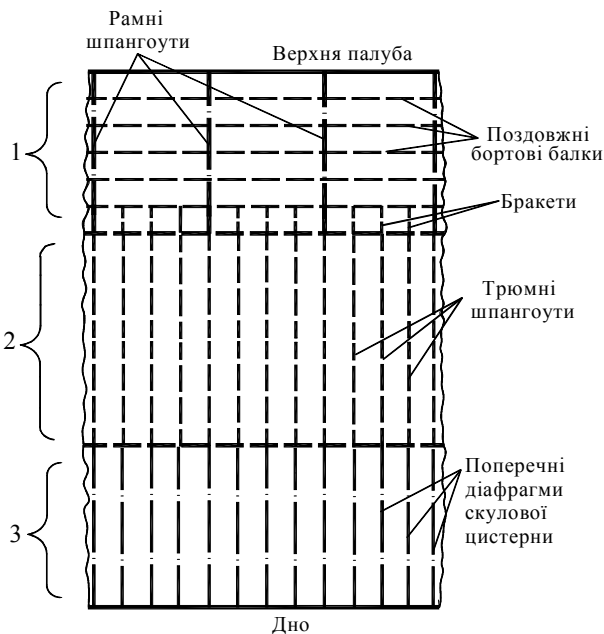


Рис. 25

6.4.1. Поперечна система набору одинарного борту

Момент опору трюмного шпангоута повинен бути не менший від визначеного за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; a – шпация, м; l – прогін шпангоута між підпалубною та бортовою цистернами, м; $m = 18$, якщо момент опору W розраховується в прогоні шпангоута; $k_{\sigma} = 0,65$; ω_k – поправка на знос і корозію (див. розд. 3.2); P – розрахунковий тиск, кПа, що визначається посередині прогону шпангоута за формулою (1.3.2.1-1). Визначений тиск P повинен бути не менший за $P_{\min} = 10z + 0,15L + 10$ при $L \geq 60$ м, де z – відстань, м, середини прогону шпангоута від вантажної ватерлінії (рис. 28).

Товщина стінки шпангоута повинна бути не менша визначеної за формулою $S_{w\min} = (7 + 0,03L)k$, де $k = 1,25$ для першого трюму; $k = 1,00$ для інших трюмів. При $L > 200$ м береться $L = 200$ м.

Товщина книці, яка з'єднує нижній кінець шпангоута зі скульовою цистерною, повинна бути не менша товщини стінки шпангоута, або $S_{w\min} + 2$ мм, в залежності від того, що більше (див. рис. 21).

Товщина книці, яка з'єднує верхній кінець шпангоута з підпалубною цистерною, повинна бути не менша товщини стінки шпангоута (рис. 29).

Протяжність верхньої та нижньої книць, яка виміряна по зовнішній обшивці борту, повинна бути не менше $0,125l$, де l – прогін шпангоута.

6.4.2. Поперечна система набору подвійного борту

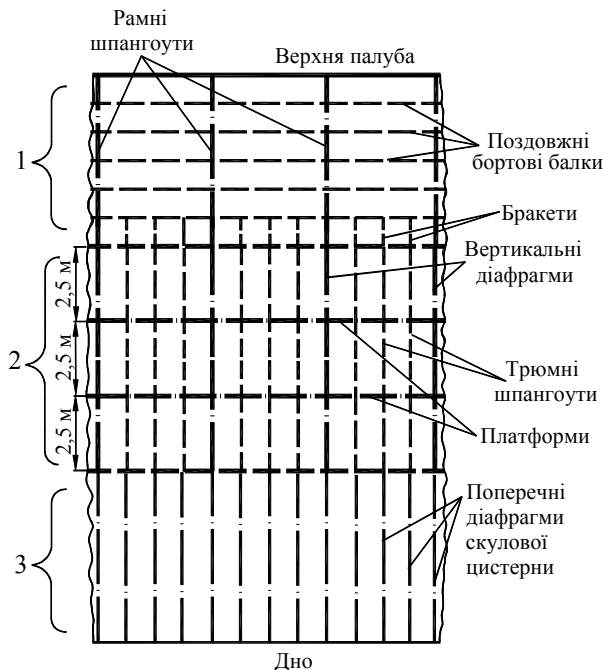


Рис. 26

Конструкція подвійного борту, який набрано за поперечною системою, складена з двох обшивок – зовнішньої обшивки борту й обшивки поздовжньої перегородки (внутрішній борт). У міжбортовому просторі розміщені також вертикальні діафрагми в площині суцільних флорів, шпангоути по зовнішньому борту і вертикальні стояки по внутрішньому борту через шпацию і платформи по висоті борту між цистернами через 2,5 м (див. рис. 26, 30).

Товщина поясів обшивки поздовжньої перегородки визначається за формулою (1.6.4.4), де a – відстань між поперечним набором, м; $k = 1,0$; $k_{\sigma} = 0,8$; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (див. розд. 3.2); P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) та береться більший.

Розрахунок товщини поясів поздовжньої перегородки за умовами міцності виконується для кожного з поясів. Розрахунковий тиск P , кПа, визначається на нижній кромці кожного поясу перегородки. Пластини цієї поздовжньої перегородки на стійкість у курсовому проекті не перевіряються.

Товщина настилу платформ береться як мінімальна будівельна товщина

$$S_{\min} = 0,018L + 6,2 \text{ мм.} \quad (2.5.4.8)$$

Вирізи в настилі повинні бути не більші 0,6 ширини подвійного борту. На відстані трьох шпаций або 1,5 ширини міжбортового простору від поперечних перегородок вирізи не роблять. Настил підкріплюється ребрами жорсткості так, щоб менший бік панелі не був більше $100S\sqrt{\eta}$, де S – товщина настилу, мм. Відстань між вирізами в настилі платформи повинна бути не менша довжини вирізу. Товщина стінки ребер жорсткості повинна бути не менша визначеної за формулами $S_{\min} = 0,025L + 5,5$ мм; $S_{\min} = 6,7 + 0,02L$ мм, але не більше 11,5 мм.

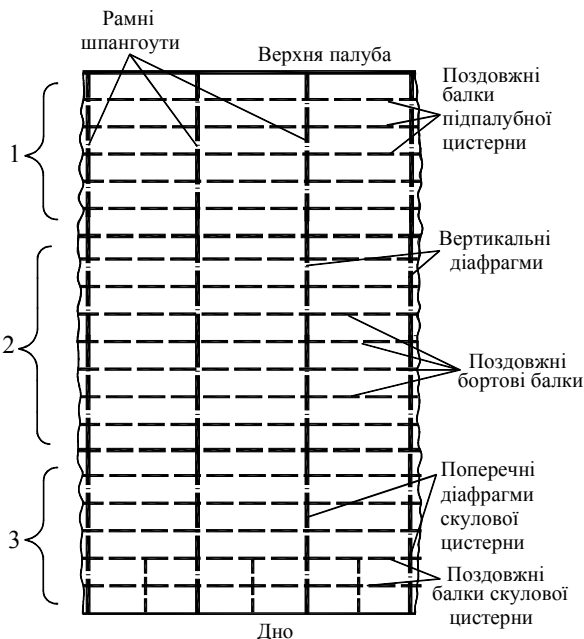


Рис. 27

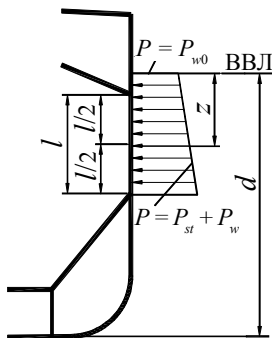


Рис. 28

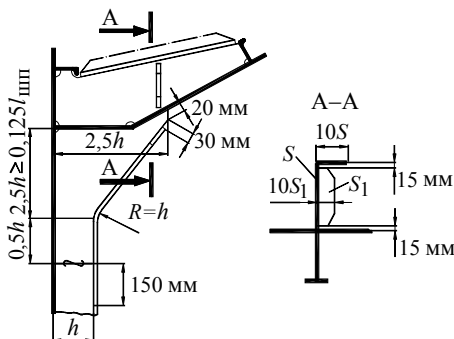


Рис. 29

Момент опору поперечного перерізу платформи визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, на рівні висоти розташування платформи від основної площини; a – відстань, м, між платформами; l – прогін, м, платформи між поперечними перегородками; $m = 18$; $k_{\sigma} = 0,65$; ΔW – додаток на знос і корозію.

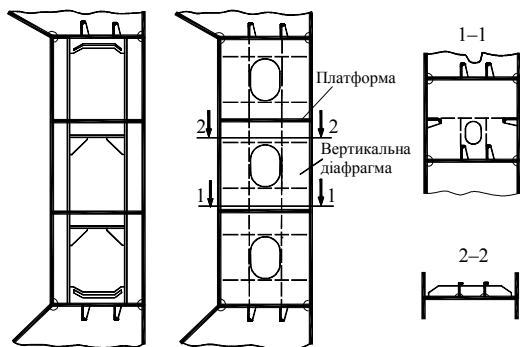


Рис. 30

Товщина діафрагми визначається так, як у платформі. Вирізи в діафрагмі повинні бути не більше 0,6 ширини подвійного борту, відстань між вирізами – не менша довжини вирізу. На відстані 1,5 ширини подвійного борту від скулової та підпалубної цистерн вирізи в діафрагмі не виконують.

Менший бік панелі діафрагми повинен бути не більше

$100S\sqrt{\eta}$, де S – товщина діафрагми, мм. Ребра жорсткості діафрагми повинні мати товщину стінки не меншу, ніж у платформи, але не більше 11,5 мм.

Момент опору поперечного перерізу діафрагми визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, що визначається посередині прогону діафрагми за формулою (1.3.2.1-1); $k_{\sigma} = 0,65$; $m = 18$; a – відстань, м, між діафрагмами; l – прогін, м, діафрагми; ΔW – додаток на знос і корозію.

Момент опору поперечного перерізу шпангоута визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, що визначається посередині прогону шпангоута за формулою (1.3.2.1-1); $k_{\sigma} = 0,65$; $m = 10$; a – шпация, м; l – прогін, м, шпангоута між платформами, або між платформою та скуловою або підпалубною цистернами; ω_k – поправка на знос і корозію (див. розд. 3.2). Розрахунковий тиск P повинен бути не менший за $P_{\min} = 10z + 0,15L + 10$, де z – відстань, м, середини прогону шпангоута від вантажної ватерлінії.

Момент опору поперечного перерізу вертикального стояка визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) та береться більший; a – шпация, м; l – прогін, м, вертикального стояка між платфор-

мами, або між платформою та скуловою або підпалубною цистернами; $m = 10$; $k_{\sigma} = 0,65$; ω_k – поправка на знос і корозію (див. розд. 3.2).

Товщина стінок балок основного набору бортового покриття повинна бути не менша за $S_{\min} = 0,025L + 5,5$ мм.

Кінці шпангоутів та вертикальних стояків у подвійному борті закріплюються за допомогою книць або бракет, товщина яких не менша товщини стінок балок основного набору.

6.4.3. Поздовжня система набору подвійного борту

Конструкція подвійного борту, який набрано за поздовжньою системою, складена з двох обшивок: зовнішньої обшивки борту і обшивки поздовжньої перегородки (внутрішній борт). В міжбортовому просторі розміщені вертикальні діафрагми в площині суцільних флорів, поздовжні балки зовнішнього борту і горизонтальні балки поздовжньої перегородки (внутрішній борт) (див. рис. 27, 31).

Розрахунок товщин конструкцій обшивок подвійного борту виконується так, як це береться для подвійного борту за поперечною системою.

Розрахунок конструкції вертикальної діафрагми виконується так, як для діафрагми борту з поперечною системою набору.

Розрахунок моменту опору поперечного перерізу поздовжніх бортових балок виконується за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається для кожної балки за формулою (1.3.2.1-1); a – шпация, м; l – прогін, м, поздовжньої балки; $m = 12$; $k_{\sigma} = 0,65$; ω_k – поправка на знос і корозію.

Момент опору горизонтальних балок поздовжньої перегородки (внутрішній борт) визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) і береться більший; $m = 12$; $k_{\sigma} = 0,65$; a – шпация, м; l – прогін, м, горизонтальної балки; ω_k – поправка на знос і корозію. Стінка діафрагми підкріплюється ребрами жорсткості в місці з'єднання з поздовжніми балками подвійного борту.

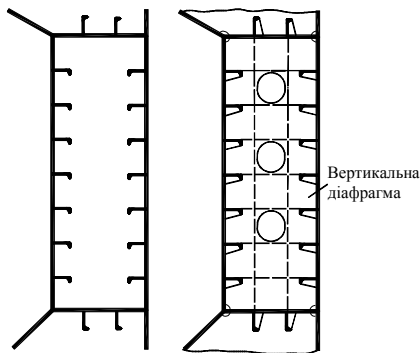


Рис. 31

6.5. Проектування конструкцій бортової підпалубної цистерни

Підпалубна цистерна виконується за поздовжньою системою набору. Листові конструкції цистерни по борту, по обшивці похилої під кутом до горизонту не менше 30° стінки цистерни підкріплюються поздовжніми балками набору, які розташовані через шпацию (рис. 32–35).

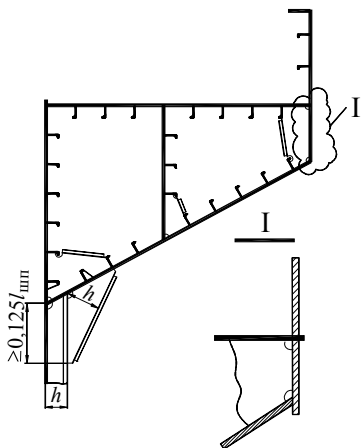


Рис. 32

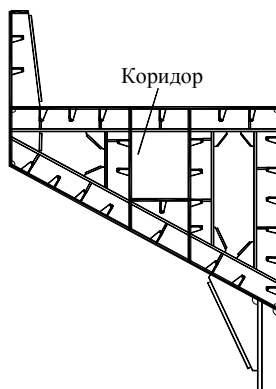


Рис. 33

В площині рамних бімсів в цистерні повинні бути розташовані поперечні рамні в'язі.

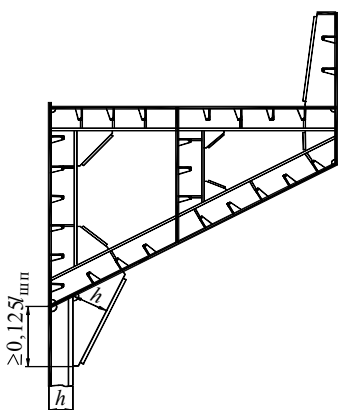


Рис. 34



Рис. 35

В площині кожного шпангоута між поперечними рамами повинні бути розташовані в нижньому куті цистерни бракети або книці, які з'єднуються з поздовжніми балками (див. рис. 32). Посередині ширини підпалубної цистерни розташована по лівому та правому бортах стінка – поздовжня перегородка (див. рис. 32, 34). По правому борту через дві шпациї встановлюється додаткова поздовжня перегородка. Ці водонепроникні перегородки разом утворюють підпалубний коридор (див. рис. 33, 35). Стінки в цистерні підкріплюються поздовжніми балками, які розташовані через шпацию.

У площині поперечних перегородок в підпалубних цистернах розташовують поперечні перегородки, в яких є невеликі вирізи для перепуску баластної води. Обшивка поперечної перегородки в цистерні підкріплюється стояками, по кінцях яких встановлюються книці.

Товщина обшивки вертикальної та похилої стінок повинна бути не менша визначеної за формулою (1.6.4.4), де $m = 15,8$; $k_{\sigma} = 0,55k_D$ (слід узяти $k_D = 1,0$); P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) і береться більший; a – шпация, м; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (розд. 3.2). Стійкість пластин обшивок конструкцій підпалубної цистерни розраховується згідно з розд. 3.3.

Товщина обшивок, визначена розрахунками, повинна бути не менше мінімальної будівельної товщини

$$S_{\min} = 10 + 0,025L \text{ мм.} \quad (3.3.4.5)$$

Момент опору поперечного перерізу поздовжніх балок підпалубної цистерни визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який знаходиться для палубних балок, як для пластин верхньої палуби, для бортових балок, як для обшивки зовнішнього борту, для поздовжніх балок похилої стінки цистерни за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) і береться більший; a – шпация, м; l – прогін, м, поздовжньої балки між рамними балками цистерни; $m = 12$; $k_{\sigma} = 0,45k_D$ для підпалубних балок; $k_{\sigma} = 0,55k_D$ для інших поздовжніх балок цистерни (слід узяти $k_D = 1$); ω_k – поправка на знос і корозію. Горизонтальні балки поздовжніх перегородок розраховуються аналогічно бортовим поздовжнім балкам, але розрахунковий тиск P , кПа, визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5).

Всі поздовжні балки підпалубної цистерни перевіряються на стійкість за формулою (1.6.5.4-1) (див. розд. 3.3).

Момент опору поперечного перерізу рамного бімса визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, такий,

як для настилу верхньої палуби; a – відстань між рамними бiмсами, м; $l = l_{p.6}$ – прогiн, м, рамного бiмса; $k_g = 0,65$; $m = 10$; ΔW – додаток на знос i корозiю.

Площа стiнки рамного бiмса повинна бути не менша вiд визначеної за формулою (1.6.4.3), де $N_{\max} = 0,5Pal$ кН; P – розрахунковий тиск на рамний бiмс, кПа; a – вiдстань між рамними бiмсами, м; l – прогiн, м, рамного бiмса між опорами; ΔS – додаток на знос i корозiю, мм (див. розд. 3.2); h – висота стiнки бiмса, см; $k_t = 0,65$; $\tau_n = 0,57\sigma_n$. Вiдповiдно до визначених W , см³, i f_c , см², пiдбирають профiль рамного бiмса.

Рамний шпангоут по борту слiд брати таким, як рамний бiмс. Рамнi стояки поздовжнiх перегородок в цистернi слiд брати, як рамний бiмс.

Момент опору поперечного перерiзу рамної балки похилої стiнки цистерни визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.2-5) i береться бiльший, але не менше 25 кПа; $m = 10$; $k_g = 0,75$; a – вiдстань між рамними балками, м; l – прогiн, м, рамної балки; ΔW – додаток на знос i корозiю. Площа стiнки рамної балки перевiряється за формулою (1.6.4.3), де $N_{\max} = 0,5Pal$ кН; $k_t = 0,75$. Іншi позначення аналогiчнi рамному бiмсу. Вiдповiдно до розрахованих W , см³, i f_c , см², пiдбирають профiль рамної балки похилої стiнки цистерни.

Мiнiмальна будiвельна товщина конструкцiй пiдпалубної цистерни повинна бути не менша вiд визначеної за формулою $S_{\min} = 0,025L + 5,5$ мм, але не менша 10 мм.

6.6. Проектування конструкцiй комiнге-карлiнга

Конструкцiї комiнге-карлiнга складено з поздовжнього комiнга висотою 1,8...2,2 м i карлiнга висотою 0,6...0,8 м. По стiнцi поздовжнього комiнга розташованi два горизонтальних ребра жорсткостi на рiвних вiдстанях вiд палуби, верхньої полки комiнга та між собою. На кожному другому шпангоутi комiнге пiдкрiплюється вертикальними бракетами, висота яких дорiвнює висотi комiнга. Стiнка карлiнга також пiдкрiплюється бракетами, якi розташованi між рамними бiмсами та приварюються до перших поздовжнiх балок палуби й обшивки пiдпалубної цистерни (рис. 36).

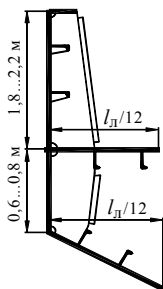


Рис. 36

Приєднаним пояском комiнге-карлiнга є частина настилу верхньої палуби. Ширина пояса дорiвнює 1/12 довжини люка. Площа перерiзу поздовжнiх палубних балок,

які розташовані на пояску, зараховується в площу приєднаного пояска. Нижнім пояском комінгс-карлінгса є частина обшивки підпалубної цистерни. Ширина пояска дорівнює $1/12$ довжини люка. Площа перерізу горизонтальних поздовжніх балок обшивки цистерни, які розташовані на пояску, зараховується в площу нижнього пояска комінгс-карлінгса. Верхній поясок комінгс-карлінгса має ширину $0,4...0,6$ м.

Товщина вертикальної стінки комінгс-карлінгса повинна бути не менша 10 мм. Товщина бракет дорівнює товщині стінки рамного бімса.

Момент опору поперечного перерізу комінгс-карлінгса повинен бути не меншим визначеного за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, на верхню палубу; a – відстань, м, між діаметральною площиною та серединою прогону рамного бімса підпалубної цистерни; l – прогін, м, комінгс-карлінгса; $m = 10$; $k_{\sigma} = 0,65$; ΔW – додаток на знос і корозію. Визначення фактичного моменту опору поздовжнього комінгс-карлінгса виконується за допомогою розрахунку геометричних характеристик цієї рамної в'язі (див. рис. 36).

6.7. Проектування конструкцій поперечної перегородки

На навалочному судні поперечні водонепроникні перегородки розподіляють вантажі по трюмах і виконують роль аварійних, тобто протидіють розповсюдженню води по суднових відсіках при аварії.

В залежності від довжини судна та розміщення машинного відділення, Правила [6, 7] дають рекомендації щодо кількості (мінімуму) водонепроникних перегородок на судні. На навалочному судні відстань між суміжними перегородками не повинна бути більшою $0,1L$.

Поперечні перегородки у вантажній зоні корпусу застосовуються, як правило, з вертикальними гофрами коробчастого профілю (рис. 37–39). Ця конструкція зменшує масу перегородки, має також експлуатаційні переваги порівняно з конструкцією плоскої перегородки.

Обшивка гофрованої перегородки повинна мати з кожного борту плоску ділянку шириною не менше $0,08B$, яка підкріплюється вертикальними стояками.

Вертикальні гофри перегородки закріплюються на поперечних опорах, конструкція яких має трапецієдну форму. Верхня опора розташована на настилі палуби, нижня опора – на настилі внутрішнього дна.

Висота верхньої опори повинна бути не менше $0,1$ відстані, яка виміряна по настилу палуби між бортовими підпалубними цистернами. Ширина горизонтального листа – не менше висоти гофрів перегородки. Верх-

ня опора повинна опиратися на поперечні комінгси вантажного люка (див. рис. 37, в, з).

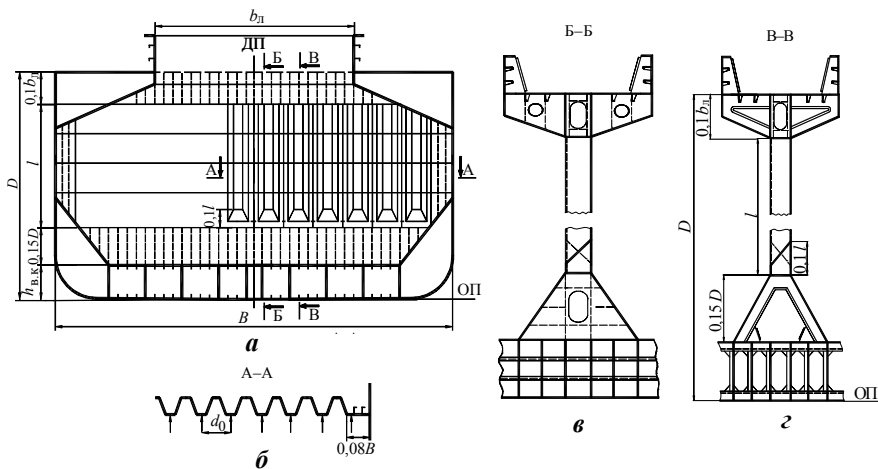


Рис. 37

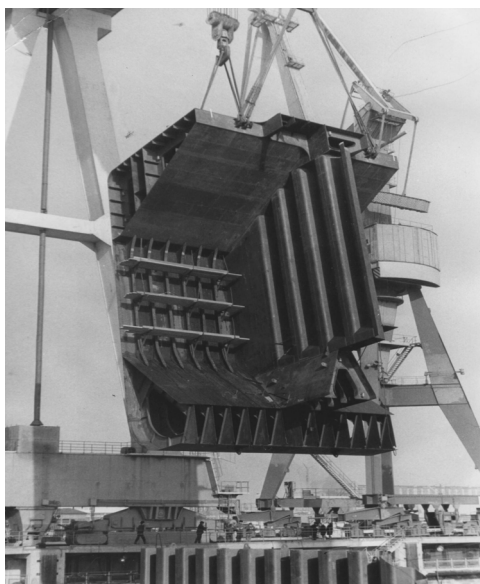


Рис. 38

Висота нижньої опори повинна бути не більшою $0,15D$. Ширина горизонтального листа – не меншою висоти гофрів перегородки. Нижня опора повинна опиратися на суцільні флори днищового перекриття (див. рис. 37, в, з).

Біля нижнього кінця гофрів передбачається розміщення вертикальних і похилих листів, які повинні закривати западини гофрів з обох боків перегородки. Висота цих листів має бути не меншою $0,1$ прогону гофра, а товщина – не меншою товщини нижнього поясу гофра (див. рис. 37, в, з). Усередині нижньої опори в площині вертикального (тунельного) кіля та

днищевих стрингерів розташовані діафрагми. У площині поздовжніх балок внутрішнього дна листи опори підкріплюються ребрами жорсткості, які утворюють замкнуті рами.



Рис. 39

Конструкція верхньої опори перегородки усередині виконується аналогічно (див. рис. 37, *б, з*).

Коробчастий гофр може бути трапецієдної форми або прямокутним (рис. 40).

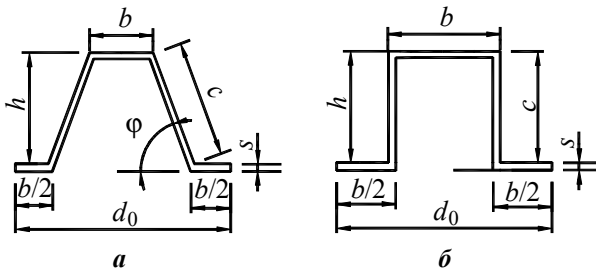


Рис. 40

Товщина поясу гофра повинна бути не менша визначеної за формулою (1.6.4.4), де a – більша з величин b або c ; $m = 15,8$; $k = 1,0$; $k_{\sigma} = 0,9$;

P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.3) і береться більший; z_i – у цих формулах відстань, м, від палуби перегородок у діаметральній площині до точки прикладання навантаження; ΔS – додаток на знос і корозію, мм (розд. 3.2).

Відношення ширини, м, грані гофра, яка паралельна площині перегородки, до її товщини, мм, повинне бути не меншим $b/s \leq 0,06\sqrt{\eta}$ (1.6.4.5.1); кут φ – не менше 40° ; товщина обшивки – не менша 10 мм. Момент опору поперечного перерізу гофра визначається за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pd_0 l$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, який визначається за формулами (1.3.4.2-4), (1.3.4.3) і береться більший; d_0 – нерозгорнута ширина гофра, м; l – прогін, м, гофра між верхньою та нижньою опорами; $m = 10$; $k_\sigma = 0,75$; ΔW – додаток на знос і корозію (розд. 3.2).

Спроектований за табл. (1.6.4.5) момент опору поперечного перерізу коробчастого гофра повинен бути не меншим розрахованого за формулою (1.6.4.1).

Таблиця (1.6.4.5)

Тип гофра	Нерозгорнута ширина, см	Момент опору, см ³
Коробчастий гофр	$d_0 = 2(b + c \cos \varphi)$	$W = hs(b + c/3)$

Конструкція нижньої опори повинна задовольняти такі вимоги: товщина верхнього горизонтального листа – не менша товщини гофра; товщина верхнього поясу похилого листа – не менша товщини гофра; товщина нижнього поясу похилого листа – не менша товщини настилу внутрішнього дна.

Товщина діафрагми повинна бути не менша товщини днищевих стрингерів; розміри вирізів у діафрагмі – менші половини ширини діафрагми в розглядуваному перерізі. Діафрагма підкріплюється вертикальними та горизонтальними ребрами жорсткості. Товщина стінок ребер жорсткості повинна бути не менша мінімальної будівельної товщини

$$S_{\min} = 0,025L + 5,5 \text{ мм.} \quad (2.4.4.9)$$

Момент опору поперечного перерізу ребра жорсткості похилого листа нижньої опори повинен бути не меншим визначеного за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа; $m = 10$; $k_\sigma = 0,75$; a – ширина b гофра прямокутної форми, м, яка співпадає зі шпациєю поздовжніх балок внутрішнього дна; l – прогін, м, ребра жорсткості; ω_k – поправка на знос і корозію (розд. 3.2) (див. рис. 37, в, з).

Конструкція верхньої опори повинна задовольняти наступні вимоги.

Товщина горизонтального листа і нижнього поясу похилого листа повинні бути не менші товщини гофра. Якщо вертикальний лист розташований у одній площині з поперечним комінгсом люка, то його товщина дорівнює товщині комінгса люка. Таку товщину повинен мати і верхній пояс похилого листа верхньої опори.

Момент опору поперечного перерізу ребра жорсткості похилого листа верхньої опори повинен бути не меншим визначеного за формулою (1.6.4.1), де $Q = Pal$ кН; P – розрахунковий тиск, кПа, не менше 25 кПа; $m = 10$; $k_{\sigma} = 0,75$; величини a і l беруться аналогічно розрахункам для нижньої опори. Товщина бракет, які розташовані всередині верхньої та нижньої опори, повинна бути не менша товщини гофрів.

7. ПЕРЕВІРКА ЗАГАЛЬНОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ МІЦНОСТІ КОРПУСУ СУДНА

Після визначення розмірів в'язей конструктивного мідель-шпангоута навалочного судна креслиться розрахункова схема еквівалентного бруса, до якої входять усі поздовжні в'язі корпусу, що беруть участь у загальному поздовжньому згинанні.

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виконується в табл. 7.1 [5]. У розрахунку порівняльна вісь збігається з основною площиною. Використовуються такі формули:

$$F = 2 \Sigma_1; \quad e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}; \quad I = 2[(\Sigma_3 + \Sigma_4) - e^2 \Sigma_1]; \quad W_D^{\Phi} = \frac{I}{D - e}; \quad W_B^{\Phi} = \frac{I}{e}.$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби та дна порівнюються з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру (розд. 5).

Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо $W_D^{\Phi} \geq W$; $W_B^{\Phi} \geq W$.

Перевіряється також товщина обшивки борту на рівні нейтральної осі:

$$s = \frac{0,5(N_{sw} + N_w) S_{\Phi}^*}{\tau I_{\Phi}} \cdot 10^2 \text{ мм}, \quad (1.4.7.1)$$

де $S_{\Phi}^* = \Sigma_5$; $\tau = 110/\eta$, МПа; η – визначається за табл. 2.1; I_{Φ} – фактич-

ний момент інерції поперечного перерізу корпусу на мідель-шпангоуті відносно нейтральної осі, см^4 ; N_{sw} , N_w – максимальні величини перерізуючих сил на тихій воді та на хвилі, кН (див. розд. 5).

Таблиця 7.1

Найменування в'язей еквівалентного бруса	Розмір в'язі, мм	Площа перерізу в'язі, см^2	Відстань центра ваги площі перерізу в'язі від по- рівняльної осі, м	Статичний момент площі перерізу в'язі відносно по- рівняльної осі, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$	Момент інерції площі пе- рерізу в'язі відносно по- рівняльної осі, $\text{см}^4 \cdot \text{м}^2$	Власний момент інерції площі перерізу в'язі, $\text{см}^4 \cdot \text{м}^2$	Відстань центра ваги пло- щі перерізу в'язі від ней- тральної осі, м	Статичний момент площі перерізу в'язі відносно ней- тральної осі, $\text{см}^4 \cdot \text{м}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
—	—	Σ_1	—	Σ_2	Σ_3	Σ_4	—	Σ_5

Якщо ці вимоги не виконуються, рекомендовані такі конструктивні дії: збільшення товщини в'язей, заміна сталі на більш міцну або збільшення висоти борту судна.

Висновки щодо міцності корпусу судна можна використати для по-
дальшого аналізу металомісткості корпусу судна, вартості його виготов-
лення тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Барабанов Н.В.* Конструкция корпуса морских судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 522 с.
2. *Барановский М.Е.* Суда для перевозки навалочных грузов. – Л.: Судостроение, 1967. – 256 с.
3. *Бронников А.В.* Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1991. – 320 с.
4. *Желязков Ж.К.* Комбинированные суда для перевозки нефти и навалочных грузов. – Л.: Судостроение, 1976. – 200 с.
5. *Матвеев В.Г.* Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни "Конструкція корпусу корабля". – Миколаїв: УДМТУ, 1999. – Ч.1. – 27 с.
6. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. – К.: РУ, 2002. – Т.1. – 368 с.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. – С.Пб.: РМРС, 1999. – Т.1. – 471 с.
8. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден: Методичні вказівки. / *В.Г. Матвеев, А.І. Кузнецов, Б.М. Мартинець* та ін. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с.
9. *Снопков В.И.* Перевозка грузов морем. – М.: Транспорт, 1986. – 312 с.

Таблиця 1Д. Штабульб несиметричний для суднобудування. Сортамент (ГОСТ 21937–76)

Про- філь	Елементи профілю					Елементи профілю з присданим пояском				
	Висота стілки	Товщина стілки	Ширина бульба	Площа, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги,см	Загальна площа, см ²	Момент інерції, см ⁴	Наймен- ший момент опору, см ³	Товщина присд- наного пояска, мм
5	50	4,0	16	2,9	7,0	3,1	62,9	44	9	10
5,5	55	4,5	17	3,5	10,2	3,4	63,5	61	12	10
6	60	5,0	19	4,3	15,0	3,7	64,3	87	15	10
7	70	5,0	21	5,1	24,1	4,4	65,1	137	20	10
8	80	5,0	22	5,8	36,2	5,1	65,8	202	25	10
9	90	5,5	24	7,0	55,6	5,7	67,0	295	33	10
10	100	6,0	26	8,6	85,2	6,3	68,6	434	45	10
12	120	6,5	30	11,2	158,0	7,6	71,2	767	68	10
14а	140	7,0	33	14,0	274,0	8,8	74,0	1274	100	10
14б	140	9,0	35	16,9	321,0	8,6	76,9	1398	112	10
16а	160	9,0	36	18,0	468,0	10,0	108,0/78,0	2200/1980	147/140	15/10
16б	160	10,0	38	21,2	527,0	9,8	111,2/81,2	2434/2190	165/159	15/10
18а	180	9,0	40	22,2	724,0	11,2	112,2/82,2	3280/2860	200/188	15/10
18б	180	11,0	42	25,8	837,0	10,8	115,8/85,8	3530/3130	218/206	15/10
20а	200	10,0	44	27,4	1078,0	12,4	117,4	4730	268	15
20б	200	12,0	46	31,4	1265,0	12,1	121,4	5110	296	15
22а	220	11,0	48	32,8	1611,0	13,5	122,8	6500	343	15
22б	220	13,0	50	37,2	1795,0	13,2	127,2	6930	372	15
24а	240	12,0	52	38,8	2232,0	14,7	128,8	8720	434	15
24б	240	14,0	54	43,6	2542,0	14,4	133,6	9250	466	15

Таблиця 2Д. Штаббульб симетричний для суднобудування. Сортамент (ГОСТ 9235–76)

Про- філь	Елементи профілю					Елементи профілю з приєднаним пояском				
	Висота стілки	Товщина стілки	Ширина бульба	Площа про- філю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Площа приєданого пояса, см ²			
							50		100	
							$I, \text{см}^4$	$W, \text{см}^3$	$I, \text{см}^4$	$W, \text{см}^3$
935	90	5,5	31,0	6,82	55	5,9	297	34	338	35
1035	100	5,5	35,5	8,53	84	6,6	450	47	512	50
1235	120	5,5	37,5	10,15	147	7,4	740	67	842	70
1446	140	6,0	42,0	13,10	257	9,3	1243	99	1426	104
1447	140	7,5	43,5	15,20	300	8,9	1339	108	1530	114
1646	160	6,5	48,5	16,47	422	10,7	1970	143	2190	146
1658	160	8,0	50,0	18,87	488	10,3	2120	155	2450	163
1857	180	7,0	55,0	20,20	656	12,1	2960	198	3420	205
1858	180	8,5	56,5	22,90	751	11,7	3120	212	3620	221
2068	200	8,4	60,4	26,06	1049	13,2	4250	270	5100	285
20610	200	10,0	62,0	29,26	1185	12,9	4510	280	5400	305
2268	220	8,0	64,0	28,24	1371	14,8	5570	327	6690	345
22610	220	10,0	68,0	33,14	1624	14,3	6010	362	7320	385
2468	240	8,5	71,0	33,17	1915	16,2	7530	420	9100	442
24710	240	10,5	75,5	38,65	2252	15,9	8100	464	9900	491
271010	270	10,0	102,0	41,74	3163	18,0	9100	480	11700	525
27812	270	12,0	82,0	48,33	3582	17,5	11600	622	13800	660
30810	300	10,0	89,0	51,00	4558	20,6	15900	800	20000	850
30812	300	12,0	91,0	57,00	5165	20,0	16400	835	20800	895

Примітка. В номері профілю вказані: h — висота стінки, см; b — ширина бульба, см; s — товщина стінки, мм (у цілих числах).

Таблиця 3Д. Геометричні характеристики симетричних штабул'єв 30810 (ГОСТ 9235–76)

Профіль	Елементи профілю				Елементи профілю з приєднаним пояском					
	Висота стінки, мм	Площа профілю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Площа приєданого пояса, см ²					
					50		100		200 і більше	
					I, см ⁴	W, см ³	I, см ⁴	W, см ³	I, см ⁴	W, см ³
30810h180	180	39	1031	13,1	5100	411	6500	435	7390	446
30810h200	200	41	1423	14,4	6500	472	8100	499	9300	511
30810h220	220	43	1885	15,7	8040	534	10050	563	11500	578
30810h240	240	45	2425	17,5	9700	595	12200	633	14000	651
30810h250	250	46	2735	17,7	10650	628	13325	668	15375	687
30810h260	260	47	3046	18,2	11600	661	14550	704	16750	723
30810h280	280	49	3755	19,4	13600	730	17200	776	19800	798
30810h300	300	51	4558	20,6	15900	800	20000	850	23200	875
30810h320	320	53	5458	21,8	18200	860	23000	926	27800	963
30810h340	340	55	6462	23,0	21000	941	26500	1000	30800	1030
30810h360	360	57	7575	24,1	23800	1010	30100	1080	36400	1120
30810h380	380	59	8800	25,3	26900	1090	34000	1160	39700	1210
30810h400	400	61	10145	26,4	30100	1170	38000	1250	44700	1290
30810h420	420	63	10615	27,5	33600	1250	42500	1330	50000	1390

Примітка. Указані профілі одержані шляхом розкрою штабул'єв 30810, виготовлених у подвійному вигляді з загальною висотою профілю 600 мм.

Таблиця 4Д. Геометричні характеристики симетричних штабульбів 30812 (ГОСТ 9237-76)

Профіль	Елементи профілю				Елементи профілю з приєднаним пояском					
	Висота стінки, мм	Площа профілю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Площа приєданого пояса, см ²					
					50		100		200 і більше	
					I, см ⁴	W, см ³	I, см ⁴	W, см ³	I, см ⁴	W, см ³
30812h180	180	42,6	1216	12,7	5300	425	6600	453	7600	465
30812h200	200	45,0	1645	14,0	6500	485	8000	507	9200	520
30812h220	220	46,4	2158	15,2	8200	554	10400	590	12000	610
30812h240	240	49,8	2762	16,5	10000	620	12600	663	14600	685
30812h250	250	51,3	3113	17,1	10950	656	13200	681	15800	700
30812h260	260	52,5	3460	17,7	11900	692	13800	700	19100	715
30812h280	280	54,6	4260	18,8	14100	765	17800	815	20700	845
30812h300	300	57,0	5165	20,0	16400	839	20800	895	24300	930
30812h320	320	59,4	6181	21,2	19000	915	24100	980	28200	1010
30812h340	340	61,8	7314	22,3	21700	990	27600	1060	32400	1100
30812h360	360	64,2	8568	23,4	24700	1070	31000	1150	37000	1195
30812h380	380	66,6	9949	24,5	27900	1150	35600	1240	42000	1290
30812h400	400	69,0	11461	25,7	31400	1230	40000	1330	47300	1390
30812h420	420	71,4	13110	26,8	35100	1320	44700	1420	53000	1490

Примітка. Вказані профілі одержані шляхом розкромлю штабульбів 30812, виготовлених у подвійному вигляді з загальною висотою профілю 600 мм.

Таблиця 5Д. Таври сталеві зварні для суден (РД 5.9373-80)

Про- філь	Елементи профілю						Елементи профілю з приєднаним пояском						
	Стінка		Поясок		Площа, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Площа приєднаного пояска, см ²					
			Тов- щина	Шири- на				Тов- щина	50				
	Тов- щина	Шири- на			Тов- щина	Тов- щина	Шири- на		Тов- щина	Шири- на	Тов- щина		
												Тов- щина	Шири- на
140	4	80	6	10,4	229	10,4	1190	92	1380	92	—		
166	160	5	100	8	16,0	453	12,2	1950	163	2550	169	—	—
186	180	5	100	10	19,0	670	13,9	3350	230	3800	235	—	—
206	200	6	100	10	22,0	1001	14,7	4400	270	5050	280	—	—
226	220	6	120	12	27,6	1459	17,0	6600	395	8000	400	—	—
25a	250	6	120	12	29,4	2042	17,3	10900	450	13000	470	—	—
28a	280	7	120	12	34,0	3050	20,2	11600	540	13600	560	—	—
32a	320	8	140	12	45,2	5280	23,2	18200	835	22200	870	26000	890
32b	320	8	160	16	51,2	5797	24,5	21000	970	25500	1000	30000	1020
36a	360	8	160	16	54,4	7900	26,8	26000	1120	34000	1180	39000	1220
40a	400	10	180	14	65,2	11960	27,9	35000	1370	42500	1430	50000	1480
45a	450	10	200	14	73,0	16880	31,4	46000	1700	58000	1770	70000	1820
50a	500	12	220	16	95,2	28180	34,5	68000	2350	87000	2600	108000	2750
56a	560	14	250	18	123,4	44370	38,5	99000	3000	128000	3600	160000	3880
63a	630	14	300	20	148,2	66880	44,8	142000	4600	175000	5100	235000	5400
71a	710	16	360	22	198,2	110200	50,7	220000	6600	280000	7100	365000	7600
80a	800	18	360	22	223,2	163000	54,7	290000	7700	380000	8500	490000	9200

Примітка. При проміжному значенні величини площі приєданого пояса I і W визначаються лінійною інтерполяцією.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Об'єм і послідовність виконання курсового проекту	3
2. Загальні відомості про проектуване судно	4
2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна	4
2.2. Вибір шпаций	6
2.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна	7
2.4. Вибір марки та категорії сталі	8
2.5. Креслення обводів мідель-шпангоута	8
3. Основні положення щодо визначення розмірів в'язей	9
3.1. Вимоги до розмірів елементів конструкцій корпусу	9
3.2. Урахування зносу та корозії в'язей корпусу	13
3.3. Стійкість елементів конструкції корпусу	15
3.4. Вимоги до конструкцій з'єднання балок набору	20
4. Розрахункові навантаження	21
4.1. Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря ...	21
4.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться	23
5. Загальна поздовжня міцність судна	25
6. Проектування елементів конструкцій корпусу судна за Правилами Регістру	27
6.1. Проектування листових конструкцій корпусу	27
6.2. Проектування конструкцій набору подвійного дна	34
6.3. Проектування конструкцій бортової скулової цистерни	41
6.4. Проектування конструкцій бортового перекриття	44
6.5. Проектування конструкцій бортової підпалубної цистерни ..	50
6.6. Проектування конструкцій комінгс-карлінгса	52
6.7. Проектування конструкцій поперечної перегородки	53
7. Перевірка загальної поздовжньої міцності корпусу судна	57
Список літератури	59
Додаток	60

В'ячеслав Григорович Матвеев
Григорій Васильович Шарун

ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО МІДЕЛЬ-ШПАНГОУТА НАВАЛОЧНИХ СУДЕН

Методичні вказівки

Видавництво НУК, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Редактор О.В. Нестеровська
Комп'ютерна правка та верстка Ю.В. Зайцева
Коректор Н.О. Шайкіна

Підписано до друку 02.06.04. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 3,8. Обл.-вид. арк. 4,1. Тираж 150 прим.
Вид. № 46. Зам. № 225. Ціна договірна.



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника у повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати ***підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки***, – ми до Ваших послуг.

© Національний університет кораблебудування

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,
видавництво НУК

☎ 8(0512) 37-33-42; 39-81-46, 39-73-39, fax 8(0512) 39-73-26;



ДЛЯ НОТАТОК