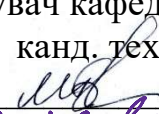


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

КОРАБЛЕБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри БМ та ККК,
канд. техн. наук, доцент
 Бобров М.М.
«22» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: **Балкер вантажопідйомністю 37 830 тонн**

Виконав студент 4111 групи

 Кривонос А.М.

Керівник роботи
доцент кафедри, канд.техн.наук

 Соков В.М.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кафедра Будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 135 «Суднобудування»
Освітньо-професійна програма «Міжнародна технічна інформація у морській діяльності»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньо-професійної програми

к.т.н, Соков В.М.



(підпис)

«09» червня 2026 року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту групи 4111

Кривоносу Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Балкер вантажопідйомністю 37830 тонн»,

керівник роботи Соков Валерій Миколайович, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом № 391-уч. ВНЗ від «09» червня 2026року,

2. Строк подання студентом роботи: «15» червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Вантажопідйомність (вантажомісткість)	<u>37830 тонн</u>
3.2 Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура)	<u>0,787 м³/т</u>
3.3 Швидкість експлуатаційна	<u>15,7 вузл.</u>
3.4 Клас судна за Правилами класифікаційного товариства	<u>—</u>
3.5 Дальність та район плавання	<u>15000 миль,</u> <u>необмежений</u>
3.6 Додаткові вимоги	<u>—</u>

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.

4.2. Побудова теоретичного креслення.

4.3. Розрахунок та побудова гідростатичних кривих.

4.4. Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства України.

4.5. Побудова конструктивного мідель-шпангоута.

4.6. Перевірка місцевої міцності і стійкості в'язей корпусу судна.

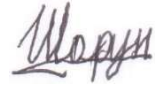
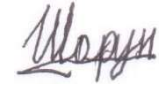
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

5.1. Теоретичне креслення.

5.2. Гідростатичні криві: діаграма місткості, діаграма статичної остійності, діаграма динамічної остійності.

5.5. Креслення конструктивного мідель-шпангоута.

6. Консультанти розділів роботи

№	Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Визначення головних розмірів судна	Ястреба О.П.		
2	Розрахунок елементів корпусу судна за правилами класифікаційного товариства України	Шарун Г.В.		
3	Перевірка міцності і стійкості в'язей корпусу судна	Соков В.М.		

7. Дата видачі завдання «05» лютого 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

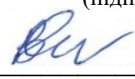
№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	15.03.2026р.	виконано
2	Побудова теоретичного креслення	24.03.2026р.	виконано
3	Побудова гідростатичних кривих	29.03.2026р.	виконано
4	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства та перевірка його вимог. Конструктивний мідель-шпангоут.	21.04.2026р.	виконано
5	Перевірка міцності і стійкості пластин	04.06.2026р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки.	15.06.2026р.	виконано

Студент


(підпис)

Кривонос А.М.

Керівник роботи


(підпис)

Соков В.М.

АНОТАЦІЯ

Кривонос А.М. «Балкер вантажопідйомністю 37 830 тонн». Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньої програми «Міжнародна технічна інформація у морській діяльності». Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова. 2026. 68 с.

В кваліфікаційній роботі бакалавра представлено проект балкера вантажопідйомністю 37830 тонн. Робота складається з 3-х розділів, які відображають основні етапи проектування судна. У 1-му розділі відбувається визначення головних розмірів судна-проекту із судна-прототипу методом послідовних наближень шляхом вирішення рівняння мас, а також отримані гідростатичні криві. У 2-му розділі відбувається розрахунок елементів корпусу судна за Правилами класифікаційного товариства України. У 3-му розділі ведеться перевірка обраних пластин і балок набору з умов міцності і стійкості.

Ключові слова: балкер, проектування, морехідні якості, міцність, стійкість.

SUMMARY

Kryvonos Andrii. “Bulk carrier with cargo capacity 37,830 tons”. Bachelor’s qualification work in the specialty 135 “Shipbuilding” of the educational program “International technical information in maritime activities”. Mykolaiv: NUOS. 2026. 68 p.

The bachelor's qualification work presents a project of a bulk carrier with a carrying capacity of 37950 tons. The work consists of 3 sections, which reflect the main stages of the ship's design. In the 1st section, the main dimensions of the project ship are determined from the prototype ship by the method of successive approximations by solving the mass equation, as well as the obtained hydrostatic curves. In the 2nd section, the calculation of the ship's hull elements is carried out according to the Rules of the Classification Society of Ukraine. In the 3rd section, the selected plates and beams of the set are checked for strength and stability conditions.

Keywords: bulk carrier, design, seaworthiness, strength, stability.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА	8
1.1 Визначення масових характеристик судна-проекту у першому наближенні	8
1.2 Визначення лінійних характеристик судна-проекту в першому наближенні	13
1.3 Визначення масових та лінійних характеристик судна-проекту у другому наближенні	16
1.4 Побудова теоретичного креслення та гідростатичних кривих	20
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ	22
2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна	22
2.2 Розрахункові навантаження	24
2.3 Загальна поздовжня міцність судна	31
2.4 Визначення товщин листів	32
2.5 Проектування ребер жорсткості набору	41
2.6 Перевірка загальної поздовжньої міцності	53
3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА	60
3.1 Перевірка пластини зовнішньої обшивки днища на міцність	60
3.2 Перевірка пластин на стійкість	63
ВИСНОВОК	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ВСТУП

Проект балкера вантажопідйомністю 37 830 тонн розроблявся із залученням судна-прототипу вказаного далі в роботі. Виконання проекту розділено на три частини. У першій частині визначення головних розмірів судна-проекту планується визначати у 2-х наближеннях. Для першого наближення розв'язується рівняння мас у функції водотоннажності, а у другому – у функції головних розмірів. Визначення лінійних розмірів відбувається з рівняння плавучості. Було розроблено теоретичне креслення, на базі якого отримані гідростатичні криві. У другому розділі ведеться опис архітектурно-конструктивного типу судна, визначення зовнішніх навантажень, проектування листових та балочних елементів корпусу судна з умов міцності і стійкості. При проектуванні в'язей корпусу судна для кожної з них використовувався найбільш несприятливий варіант навантаження. При розрахунку товщини листів і балок набору з умов міцності і стійкості враховано корозійний знос. В третьому розділі, який характеризує дисципліну «будівельна механіка корабля» відбувається перевірка міцності і стійкості обраних пластин і балок набору. Така перевірка необхідна, тому що були визначені реальні геометричні характеристики еквівалентного бруса, що спричинило зміну значень стискуючих напружень.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення головних розмірів судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Кривонос А.М.		JK				7	
Консульт.	Ястреба О.П.		Ястреба					
Керівник	Соков В.М.		Соков			НУК		
Зав. каф.	Бобров М.М.		Бобров					

1 ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА

В цьому розділі відбувається визначення головних розмірів судна, яке проектується шляхом послідовних наближень. Так як невідома потужність головного двигуна судна-проекту, не можна з достатньою точністю визначити масу розділу «Енергетична установка». Невідомою є характеристика «питома витрата палива», а тому маса розділу «Паливо» визначається приблизно. Це викликає необхідність визначати головні розміри судна-проекту послідовними наближеннями.

1.1 Визначення масових характеристик судна-проекту у першому наближенні

У першому наближенні для судна-проекту складається рівняння мас у функції водотоннажності. Вимірники мас у цьому випадку визначаються за судном-прототипом. Вирішуючи дане рівняння, знаходимо водотоннажність судна-проекту у першому наближенні. Після цього, для перевірки, знаходяться значення розділів навантаження мас, а їх сума повинна дорівнювати знайдений водотоннажності судна-проекту у 1-му наближенні з точністю до 1%.

В табл. 1.1 представлені основні дані судна-прототипу, які використовуються для проектування судна-проекту. Величини для судна-прототипу позначені рискою зверху.

Таблиця 1.1 – Дані судна-прототипу

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Довжина найбільша, м	$\bar{L}_{\max}$	182,9
2	Довжина між перпендикулярами, м	$\bar{L}_{\perp\perp} = \bar{L}$	178,48
3	Ширина судна, м	$\bar{B}$	32,2
4	Висота борта, м	$\bar{H}$	15,8
5	Осадка судна, м	$\bar{T}$	11,1
6	Коефіцієнт загальної повноти	$\bar{\delta}$	0,784
7	Коефіцієнт повноти ватерлінії	$\bar{\alpha}$	0,915
8	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	$\bar{\beta}$	0,995

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.01	Арк.
						8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
9	Експлуатаційна швидкість, вузли	$\bar{v}_e$	15,4
10	Швидкість на випробуваннях, вузли	$\bar{v}_в$	15,9
11	Потужність СЕУ експлуатаційна, кВт	$\bar{N}_e$	9240
12	Потужність СЕУ на випробуваннях, кВт	$\bar{N}_в$	10300
13	Дальність плавання, миль	$\bar{Z}$	15000
14	Кількість гвинтів	—	1
15	Кількість екіпажу, чоловік	—	31
16	Водотоннажність, т	$\bar{D}$	52321
17	Довжина машинного відділення, м	$\bar{L}_{мв}$	26,56
18	Довжина форпіка, м	$\bar{L}_{фор}$	9,8
19	Довжина ахтерпіка, м	$\bar{L}_{ахт}$	10,8
20	Поперечний метацентричний радіус, м	$\bar{r}$	-
21	Поздовжній метацентричний радіус, м	$\bar{R}$	-
22	Відношення $\bar{B} / \bar{T}$	—	2,901
23	Відношення $\bar{L} / \bar{B}$	—	5,543
24	Відношення $\bar{H} / \bar{T}$	—	1,423

Таблиця 1.1а – Проектний укрупнений розподіл мас за розділами судна-прототипу

№	Назва розділу	Маса, $\bar{P}$, т	Координати, м	
			$\bar{x}$	$\bar{z}$
1	2	3	4	5
1	Металевий корпус (мк)	9572	-6,20	11,38
2	Обладнання (об)	1805	-22,33	17,82
3	Енергетична установка (еу)	798	-66,90	9,45
4	Паливо (пал)	2125	-54,89	9,78
5	Запас водотоннажності (зв)	210	-14,29	12,14
6	Постачання (пос)	311	-75,17	16,83
7	Баласт (б)	0	0,00	0,00
8	Вантаж (в)	37500	15,52	9,57

Вихідні дані для судна-проекту представлено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Дані по судну-проекту

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
----------	----------------	------------	----------

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Вантажомісткість, т	P_B	37830
2	Експлуатаційна швидкість, вузли	v_e	15,7
3	Швидкість на випробуваннях, вузли	v_B	16,2
4	Дальність плавання, миль	Z	15000
5	Район плавання	—	необмежений
6	Льодова категорія	—	—
7	Тип ЕУ	—	ДВЗ
8	Густина вантажу, т/м ³	γ_B	1,27
9	Питома навантажувальна кубатура, м ³ /т	μ	0,787

В табл. 1.3 представлено розрахунок допоміжних даних.

Таблиця 1.3 – Розрахунок даних для рівняння мас судна-проекту

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Вимірник маси металевого корпусу	a_{MK}	$a_{MK} = \frac{\overline{P}_{MK}}{D}$	0,1829
2	Вимірник маси обладнання	$a_{об}$	$a_{об} = \frac{\overline{P}_{об}}{\frac{2}{D^3}}$	1,2903
3	Вимірник маси енергетичної установки, т/кВт	a_{ey}	$a_{ey} = \frac{\overline{P}_{ey}}{\overline{N}_B}$	0,0775
4	Вимірник маси палива, т/(кВт·год)	$a_{пал}$	$a_{пал} = \frac{\overline{P}_{пал} \cdot \overline{v}_e}{\overline{N}_e \cdot Z}$	2,3611E-04
5	Вимірник маси запасу водотоннажності	$a_{зв}$	$a_{зв} = \frac{\overline{P}_{зв}}{D} \geq 0,01$	0,01
6	Вимірник маси постачання	$a_{пос}$	$a_{пос} = \frac{\overline{P}_{пос}}{D}$	5,9441E-03
7	Вимірник маси баласту	a_6	$a_6 = \frac{\overline{P}_6}{D}$	0
8	Адміралтейський коефіцієнт при експлуатації	C_e	$C_e = \frac{\frac{2}{D^3} \cdot \overline{v}_e^{-3}}{\overline{N}_e}$	552,9
9	Адміралтейський коефіцієнт на випробуваннях	C_B	$C_B = \frac{\frac{2}{D^3} \cdot \overline{v}_B^{-3}}{\overline{N}_B}$	545,9
10	Коефіцієнт утилізації водотоннажності по чистій вантажопідйомності:	$\overline{\eta}_0$	$\overline{\eta}_0 = \frac{\overline{P}_B}{D}$	0,7167

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
11	Уточнене значення $\bar{\eta}_0$ в зв'язку з різницею проекту та прототипу за $\bar{v}_e$, $\bar{v}_b$ та Z	η_0^{yt}	$\eta_0^{yt} = \bar{\eta}_0 - \left(a_{ey} \left(\frac{v_b}{v_e} \right)^3 + a_{пал} \cdot \left(\frac{v_e}{v_e} \right)^2 \cdot \frac{Z}{Z} \right) + a_{ey} + a_{пал}$	0,7123
12	Ще раз уточнене η_0^{yt} у зв'язку з існуванням масштабного ефекту	η_0	$\eta_0 = \eta_0^{yt} \cdot \sqrt[4]{\frac{P_b}{P_b}}$	0,7138
13	Очікувана водотоннажність	$D_{оч}$	$D_{оч} = \frac{P_b}{\eta_0}$	52997
14	Коефіцієнт в рівнянні мас	n	$n = 1 - a_{mk} - a_{зв} - a_{пос}$	0,8011
15	Коефіцієнт в рівнянні мас	m	$m = a_{об} + a_{ey} \cdot \frac{v_b^3}{C_b} + a_{пал} \cdot \frac{v_e^2}{C_e} \cdot Z$	3,4725

Масова водотоннажність D , т, судна-проекту визначається залежністю

$$D = P_{mk} + P_{об} + P_{ey} + P_{пал} + P_{зв} + P_{пос} + P_6 + P_b, \quad (1)$$

де P_{mk} , $P_{об}$, P_{ey} , $P_{пал}$, $P_{зв}$, $P_{пос}$, P_6 , P_b – маси розділів відповідно: металевого корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, запасу водотоннажності, постачання, баласту, вантажу.

Всі складові (1) залежать від водотоннажності D , окрім P_6 , P_b . Складові P_i в (1), залежні від водотоннажності D представляються у вигляді

$$P_i = a_i \cdot D, \quad (2)$$

де P_i – маса i -го розділу навантаження; a_i – частковий коефіцієнт маси відповідного розділу навантаження.

Для судна-проекту при 100% вантажу і 100% запасів масу баласту P_6 приймаємо $P_6 = 0$.

У першому наближенні усі розділи навантаження проекту виражені в функції водотоннажності D , після чого вираз (1) приймає вигляд:

$$D = a_{mk} \cdot D + a_{об} \cdot D^{\frac{2}{3}} + a_{ey} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_b^3}{C_b} + a_{пал} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^2}{C_e} \cdot Z + a_{зв} \cdot D + a_{пос} \cdot D + P_6 + P_b. \quad (3)$$

де $a_{\text{МК}}$, $a_{\text{об}}$, $a_{\text{еу}}$, $a_{\text{пал}}$, $a_{\text{зв}}$, $a_{\text{пос}}$ – вимірники мас відповідно: металевому корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, запасу водотоннажності, постачання, які були визначені в табл. 1.3.

Вираз (3) може бути переписаний наступним чином

$$\left. \begin{aligned} D(1-a_{\text{МК}}-a_{\text{зв}}-a_{\text{пос}}) &= D^{\frac{2}{3}} \cdot \left(a_{\text{об}} + a_{\text{еу}} \cdot \frac{v_{\text{в}}^3}{C_{\text{в}}} + a_{\text{пал}} \cdot \frac{v_{\text{е}}^2}{C_{\text{е}}} \cdot Z \right) + P_{\text{в}} + P_{\text{г}} \Rightarrow \\ n \cdot D &= m \cdot D^{\frac{2}{3}} + P_{\text{в}} \Rightarrow n \cdot D - m \cdot D^{\frac{2}{3}} - P_{\text{в}} - P_{\text{г}} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де коефіцієнти n , m були визначені в пунктах 13, 14 табл. 1.3.

Вирішуючи останнє нелінійне рівняння (4), використовуючи очікувану водотоннажність $D_{\text{оч}}$ (пункт 13 табл. 1.3) в якості початкового наближення, знайдемо водотоннажність судна-проекту у 1-му наближенні, яка становить

$$D_1 = D = 53\,366,2 \text{ т} \quad (5)$$

Різниця ε_1 між водотоннажністю у 1-му наближенні $D_1 = D$ (5) і очікуваною водотоннажністю $D_{\text{оч}}$, отриманою в пункті 13 табл. 1.3 становить

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{D_1 - D_{\text{оч}}}{D_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{53\,366,2 - 52\,997}{53\,366,2} \right| \cdot 100\% = 0,69\%. \quad (6)$$

В 1-му наближенні приймаємо водотоннажність $D = D_1 = 53\,366,2 \text{ т}$, визначену в (5), яка отримана шляхом вирішення нелінійного рівняння (4).

В табл. 1.4 представлено розподіл водотоннажності судна-проекту по розділам масового навантаження у 1-му наближенні, які отримані з рівняння (3).

Таблиця 1.4 – Розподіл по розділам масового навантаження судна-проекту у 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Маса металевому корпусу, т	$P_{\text{МК}}$	$P_{\text{МК}} = a_{\text{МК}} \cdot D$	9763,2
2	Маса обладнання, т	$P_{\text{об}}$	$P_{\text{об}} = a_{\text{об}} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	1829,0
3	Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{еу}}$	$P_{\text{еу}} = a_{\text{еу}} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{в}}^3}{C_{\text{в}}}$	855,2
4	Маса палива, т	$P_{\text{пал}}$	$P_{\text{пал}} = a_{\text{пал}} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{е}}^2}{C_{\text{е}}} \cdot Z$	2237,9

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
5	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{зв}$	$P_{зв} = a_{зв} \cdot D$	533,7
6	Маса постачання, т	$P_{пос}$	$P_{пос} = a_{пос} \cdot D$	317,2
7	Маса баласту, т	P_6	—	0,0
8	Маса вантажу, т	$P_в$	(п. 1, табл. 1.2)	37830,0
9	Сумарна маса, т	Σ_P	$\Sigma_P = P_{мк} + P_{об} + P_{еу} + P_{пал} + P_{зв} + P_{пос} + P_6 + P_в$	53366,2

Як видно з табл. 1.4 сумарна маса $\Sigma_P = 53366,2$ т відрізняється на 0% від водотоннажності $D = D_1 = 53366,2$ т, що свідчить про правильність виконаних розрахунків.

1.2 Визначення лінійних характеристик судна-проекту в першому наближенні

Розрахунок лінійних характеристик корпусу судна-проекту у 1-му наближенні і прототипу представлено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок безрозмірних характеристик корпусу судна-проекту у 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Прискорення вільного падіння, м/с ²	g	—	9,81
2	Густина морської води, т/м ³	γ	—	1,025
3	Відносна довжина проекту	l	$l = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{D}} \right) \cdot \sqrt[3]{v_e}$	5,341
4	Відносна довжина прототипу	$\bar{l}$	$\bar{l} = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{D}{\gamma}}}$	4,811
5	Прийнята відносна довжина	l	у судна з більшою швидкістю l є більшим; $\bar{v}_e = 15,4$ вуз < $v_e = 15,7$	5,341
6	Довжина проекту між $\perp \perp$, м	L	$L = l \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{\gamma}}$	199,42

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
7	Число Фруда проекту	Fr	$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{g L}}$	0,1825
8	Число Фруда прототипу	$\overline{Fr}$	$\overline{Fr} = \frac{0,514 \cdot \overline{v_e}}{\sqrt{g \overline{L}}}$	0,1892
9	Коефіцієнт загальної повноти	δ	$\delta = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \cdot \exp(-24 \cdot Fr)}$	0,787
10	Коефіцієнт поздовжньої остроти	φ	$\varphi = 1 - \frac{0,41}{1 + 100 \cdot \exp(-25 \cdot Fr)}$	0,799
11	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	$\beta = \frac{\delta}{\varphi}$	0,984
12	Допоміжний коефіцієнт для визначення коефіцієнту повноти ВВЛ	a	$a = 1,01$ при $Fr < 0,25$ для U шп.; $a = 1,04$ при $0,25 \leq Fr \leq 0,30$ для UV шп.; $a = 1,06$ при $0,3 < Fr$ для V шп.;	1,01
13	Коефіцієнт повноти ВВЛ	α	$\alpha = a \cdot \varphi^{2/3}$	0,870

В табл. 1.6 представлено вибір коефіцієнтів корпусу судна-проекту. Приймаючи значення коефіцієнтів δ , α , β в табл. 6.1, слід мати на увазі, що при більшому значенні Fr проекту коефіцієнти повноти для нього повинні бути меншими, ніж у судна-прототипу, і навпаки – якщо число Fr має менше значення, то коефіцієнти приймаються більшими.

Таблиця 1.6 – Прийняті коефіцієнти корпусу судна-проекту

№ п/п	Величина	Проект	Прототип	Прийнято
1	Fr	0,1825	0,1892	0,1825
2	δ	0,787	0,784	0,787
3	β	0,984	0,995	0,995
4	α	0,870	0,915	0,915

Коефіцієнт зв'язку коефіцієнтів становить

$$K_{ЗК} = \frac{\alpha \cdot \beta}{\delta} = \frac{0,915 \cdot 0,995}{0,787} = 1,157, \quad (7)$$

який входить в допустимий діапазон $1,16 \pm 0,16$.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

В табл. 1.7 представлено визначення головних розмірів судна-проекту. При цьому для обчислень використовуються прийняті значення коефіцієнтів табл. 1.6.

Таблиця 1.7 – Визначення головних розмірів судна-проекту в 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відношення ширини B до осадки T (приймаємо за прототипом)	C	$C = \frac{B}{T} = \frac{\bar{B}}{\bar{T}}$, табл. 1.1	2,901
2	Коефіцієнт виступаючих частин	$K_{вч}$	–	1,02
3	Відношення довжини L до ширини B проекту	A	$A = \frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \cdot \delta \cdot \frac{1}{C} K_{вч} \cdot \gamma}$	6,573
4	Відношення довжини L до ширини B прототипу	$\bar{A}$	$\bar{A} = \frac{\bar{L}}{\bar{B}}$, табл. 1.1	5,543
5	Прийняте відношення $A = L/B$	A	у судна з більшою швидкістю L/B є більшим; $\bar{v}_e = 15,4$ вуз $< v_e = 15,7$ вуз	6,573
6	Довжина судна з умов плавучості, м	L	$L = \sqrt[3]{\frac{D \cdot A^2 \cdot C}{\gamma \cdot \delta \cdot K_{вч}}}$	201,07
7	Ширина судна, м	B	$B = \frac{L}{A}$	30,59
8	Осадка судна, м	T	$T = \frac{B}{C}$	10,54
9	Відношення висоти борту H до осадки T (приймаємо за прототипом)	J	$J = \frac{H}{T} = \frac{\bar{H}}{\bar{T}}$, табл. 1.1	1,423
10	Висота борту, м	H	$H = J \cdot T$	15,01
11	Уточнена довжина судна, м	L	$L = \frac{D}{\gamma \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot B \cdot T}$	201,07
12	Рівняння плавучості (для перевірки), т	D^*	$D^* = \gamma \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot L \cdot B \cdot T$	53366,2
13	Водотоннажність у 1-му наближенні	$D = D_1$	вираз (5)	53366,2
14	Різниця між D і D^*	ε_D	$\varepsilon_D = \left \frac{D - D^*}{D} \right \cdot 100\%$	0,00

Прийняті параметри судна-проекту в 1-му наближенні представлені в табл. 1.8, які були зібрані з попередніх таблиць.

Таблиця 1.8 – Прийняті головні параметри судна-проекту в 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Водотоннажність, т	$D = D_1$	53366,2
2	Довжина між $\perp\perp$, м	L	201,07
3	Ширина, м	B	30,59
4	Осадка, м	T	10,54
5	Висота борту, м	H	15,01
6	Число Фруда	Fr	0,1825
7	Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,787
8	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	0,995
9	Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	α	0,915

Очікувані потужності енергетичної установки при експлуатації $N_{e\text{ оч}}$ та на випробуваннях $N_{в\text{ оч}}$ визначаються залежностями

$$\left. \begin{aligned} N_{e\text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^3}{C_e} = \frac{53366,2^{\frac{2}{3}} \cdot 15,7^3}{552,9} = 9920,5 \text{ кВт}; \\ N_{в\text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_v^3}{C_v} = \frac{53366,2^{\frac{2}{3}} \cdot 16,2^3}{545,9} = 11038,7 \text{ кВт}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

На основі значень потужностей (8) підбираємо енергетичну установку. Енергетичною установкою є один дизельний двигун внутрішнього згоряння з наступними характеристиками, які представлені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Характеристики енергетичної установки судна-проекту в 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Марка двигуна	—	10L42MC
2	Потужність двигуна експлуатаційна, кВт	$N_{ед}$	9950
3	Потужність двигуна на випробуваннях, кВт	$N_{вд}$	—
4	Питома витрата палива, т/(кВт·год)	$q_{пал}$	1,77E-04

1.3 Визначення масових та лінійних характеристик судна-проекту у другому наближенні

Щоб знайти масові показники судна-проекту у 2-му наближенні розв'яжемо рівняння мас у функції головних розмірів, де приймаються головні розміри 1-го

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

наближення з табл. 1.8. Маса розділів 1-го наближення взяті з табл. 1.4. У вказаному рівнянні мас показники потужностей та маса суднового двигуна беруться з табл. 1.9. В табл. 1.10 представлено розрахунок допоміжних величин, необхідних для розв’язання рівняння мас у функції головних розмірів.

Таблиця 1.10 – Вимірники мас за розділами навантаження для 2-го наближення

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відношення H/T	H/T	H/T	1,423
2	Коефіцієнт повноти об’єму судна по ВП	δ_{Π}	$\delta_{\Pi} = \delta \cdot \frac{T}{H} + 1.05 \cdot \alpha \cdot \left(1 - \frac{T}{H}\right)$	0,8387
3	Вимірник маси металевого корпусу	$q_{\text{МК}}$	$q_{\text{МК}} = \frac{P_{\text{МК}}}{\delta_{\Pi} L B H}$	0,1261
4	Вимірник маси обладнання	$q_{\text{об}}$	$q_{\text{об}} = \frac{P_{\text{об}}}{(L B H)^{\frac{2}{3}}}$	0,8954
5	Вимірник маси енергетичної установки, т/кВт	$q_{\text{еу}}$	$q_{\text{еу}} = \frac{P_{\text{еу}}}{N_{\text{в оч}}}$	0,0775
6	Вимірник маси палива, т/(кВт·год)	$q_{\text{пал}}$	—	1,7700E-04
7	Вимірник маси запасу водотоннажності	$q_{\text{зв}}$	$q_{\text{зв}} = \frac{P_{\text{зв}}}{D}$	1,0000E-02
8	Вимірник маси постачання	$q_{\text{пос}}$	$q_{\text{пос}} = \frac{P_{\text{пос}}}{D^{\frac{2}{3}}}$	0,2238
9	Коефіцієнт морського запасу	$k_{\text{мз}}$	—	1,2
10	Коефіцієнт, який враховує витрати палива на роботу допоміжних двигунів	$k_{\text{д}}$	1,15 - для універсальних суховантажів; 1,2 - для танкерів	1,15
11	Адміралтейський коефіцієнт при експлуатації	$C_{\text{е}}$	$C_{\text{е}} = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{е}}^3}{N_{\text{ед}}}$	551,3
12	Адміралтейський коефіцієнт на випробуваннях	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{в}} = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{в}}^3}{N_{\text{в оч}}}$	545,9
13	Коефіцієнт в рівнянні мас	n	$n = 1 - q_{\text{зв}} - 0,966 q_{\text{МК}} \frac{\delta_{\Pi}}{\delta} \cdot \frac{H}{T}$	0,8052
14	Коефіцієнт в рівнянні мас	m	$m = q_{\text{об}} \left(\frac{H}{T} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot \delta} \right)^{\frac{2}{3}} + q_{\text{пос}} + q_{\text{еу}} \cdot \frac{v_{\text{в}}^3}{C_{\text{в}}}$	2,1346
15	Маса палива у 2-му наближенні, т	$P_{\text{пал2}}$	$P_{\text{пал2}} = q_{\text{пал}} N_{\text{ед}} \cdot \frac{Z}{v_{\text{е}}} k_{\text{мз}} \cdot k_{\text{д}}$	2322,0
16	Маса баласту у 2-му	$P_{\text{б}}$	—	0

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
	наближені, т			

Рівняння мас у функції головних розмірів має вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 D \cdot \left(1 - q_{зв} - 0,966 q_{мк} \frac{\delta_n}{\delta} \cdot \frac{H}{T} \right) &= D^{\frac{2}{3}} \cdot \left(q_{об} \left(\frac{H}{T} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot \delta} \right)^{\frac{2}{3}} + q_{пос} + q_{ey} \cdot \frac{v_B^3}{C_B} \right) + \\
 &+ P_{пал2} + P_B + P_6 \Rightarrow \\
 n \cdot D &= m \cdot D^{\frac{2}{3}} + P_{пал2} + P_B + P_6 \Rightarrow \\
 n \cdot D - m \cdot D^{\frac{2}{3}} - P_{пал2} - P_B - P_6 &= 0,
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де $P_{пал2}$ береться з табл. 1.10.

Вирішуючи рівняння (9) отримуємо водотоннажність у 2-му наближенні, яка становить

$$D_2 = D = 153634,1 \text{ т.} \quad (10)$$

Різниця ε_2 між водотоннажністю у 1-му та 2-му наближеннях становить

$$\varepsilon_2 = \left| \frac{D_1 - D_2}{D_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{53366,2 - 53634,1}{53366,2} \right| \cdot 100\% = -0,50\%. \quad (11)$$

В 2-му наближенні приймаємо водотоннажність $D = D_2 = 53634,1 \text{ т}$, визначену в (10), яка отримана шляхом вирішення нелінійного рівняння (9).

В табл. 1.11 представлено розподіл водотоннажності судна-проекту у 2-му наближенні по розділам масового навантаження, які отримані з рівняння (9).

Таблиця 1.11 – Розподіл по розділам масового навантаження судна-проекту у 2-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Маса металевого корпусу, т	$P_{мк}$	$P_{мк} = 0,966 q_{мк} \frac{\delta_n}{\delta} \cdot \frac{H}{T} \cdot D$	9909,9
2	Маса обладнання, т	$P_{об}$	$P_{об} = q_{об} \left(\frac{H}{T} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot \delta} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	1859,5
3	Маса енергетичної установки, т	P_{ey}	$P_{ey} = q_{ey} \cdot \frac{v_B^3}{C_B} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	858,1
4	Маса палива, т	$P_{пал}$	п. 15 табл. 1.10	2322,0

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
5	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{зв}$	$P_{зв} = q_{зв} \cdot D$	536,3
6	Маса постачання, т	$P_{пос}$	$P_{пос} = q_{пос} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	318,3
7	Маса баласту, т	$P_{б}$	—	0,0
8	Маса вантажу, т	$P_{в}$	(п. 1, табл. 1.2)	37830,0
9	Сумарна маса, т	ΣP	$\Sigma P = P_{мк} + P_{об} + P_{еу} + P_{пал} + P_{зв} + P_{пос} + P_{б} + P_{в}$	53634,1

Як видно з табл. 1.11 сумарна маса $\Sigma P = 53634,1$ т відрізняється на 0% від водотоннажності $D = D_2 = 53634,1$ т, що свідчить про правильність виконаних розрахунків.

В табл. 1.12 представлено розрахунок лінійних розмірів судна у 2-му наближенні, отримані з рівняння плавучості. В табл. 1.12 параметри, які відносяться до 1-го наближення взяті з табл. 1.8 і мають індекс «1».

Таблиця 1.12 – Визначення головних розмірів судна-проекту в 2-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відношення ширини B до осадки T (приймаємо за 1-м наближенням)	C	$C = \frac{B}{T} = \frac{B_1}{T_1}$	2,901
2	Коефіцієнт виступаючих частин	$K_{вч}$	—	1,02
3	Відношення довжини L до ширини B проекту у 2-му наближенні	A	$A = \frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \cdot \delta \cdot \frac{1}{C} K_{вч} \cdot \gamma}$	6,573
4	Відношення довжини L до ширини B у 1-му наближенні	A_1	$A = \frac{L}{B} = \frac{L_1}{B_1}$	6,573
5	Прийняте відношення $A=L/B$	A	у судна з більшою швидкістю L/B є більшим; $\bar{v}_e = 15,4$ вуз $< v_e = 15,7$ вуз	6,573
6	Довжина судна з умов плавучості, м	L	$L = \sqrt[3]{\frac{D \cdot A^2 \cdot C}{\gamma \cdot \delta \cdot K_{вч}}}$	201,40
7	Ширина судна, м	B	$B = \frac{L}{A}$	30,64
8	Осадка судна, м	T	$T = \frac{B}{C}$	10,56
9	Відношення висоти борту H до осадки T (приймаємо за 1-м наближенням)	J	$J = \frac{H}{T} = \frac{H_1}{T_1}$	1,423

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
10	Висота борту, м	H	$H = J \cdot T$	15,03
11	Уточнена довжина судна, м	L	$L = \frac{D}{\gamma \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot B \cdot T}$	201,40
12	Рівняння плавучості (для перевірки), т	D^*	$D^* = \gamma \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot L \cdot B \cdot T$	53634,1
13	Водотоннажність у 2-му наближенні	$D=D_2$	вираз (10)	53634,1
14	Різниця між D і D^*	ε_D	$\varepsilon_D = \left \frac{D-D^*}{D} \right \cdot 100\%$	0,00

В табл. 1.13 представлені остаточні параметри судна-прототипу та судна-проекту.

Таблиця 1.13 – Параметри судна-проекту у 2-му наближенні і судна прототипу

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення	
			проект	прототип
1	Водотоннажність, т	D	53634,1	52321
2	Довжина між $\perp\perp$, м	L	201,40	178,48
3	Ширина, м	B	30,64	32,2
4	Осадка, м	T	10,56	11,1
5	Висота борту, м	H	15,03	15,8
6	Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,787	0,784
7	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	0,995	0,995
8	Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	α	0,915	0,915
9	Експлуатаційна швидкість, вузли	v_e	15,7	15,4
10	Швидкість на випробуваннях, вузли	v_v	16,2	15,9
11	Дальність плавання, миль	Z	15000	15000
12	Маса металевого корпусу, т	$P_{мк}$	9909,9	9572
13	Маса обладнання, т	$P_{об}$	1859,5	1805
14	Маса енергетичної установки, т	$P_{еу}$	858,1	798
15	Маса палива, т	$P_{пал}$	2322,0	2125
16	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{зв}$	536,3	210
17	Маса постачання, т	$P_{пос}$	318,3	311
18	Маса баласту, т	$P_б$	0,0	0
19	Маса вантажу, т	P_v	37830,0	37500

1.4 Побудова теоретичного креслення та гідростатичних кривих

Методами теорії корабля були отримані координати теоретичного креслення та обрані гідростатичні криві. Згідно розрахунків за табл. 1.1а центр ваги судна становить: $x_g = 5,47$ м; $z_g = 10,25$ м.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок елементів корпусу судна за Правилами класифікаційного товариства України	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Кривонос А.М.		ІС				21	
Консульт.	Шарун Г.В.		Шарун					
Керівник	Соков В.М.		Ві			НУК		
Зав. каф.	Бобров М.М.		МБ					

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ

2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проектоване судно є балкером з кормовим розташуванням машинного відділення та житлової надбудови, з коротким баком, нахиленим надводним форштевнем, підводним бульбом в носовій частині і транцевою кормою. Судно має подвійне дно та подвійний борт, які набрані за поздовжньою системою набору. Кінцеві частини корпусу судна набрані за поперечною системою набору. Флори і шпангоути розташовані через 2 шпації у середній частині судна. У даному розділі визначено розміри поздовжніх в'язей корпусу універсального суховантажного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден». Вихідні дані згідно прийнятих позначень Регістру представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

№	Найменування величини	Позначення	Значення
1	Довжина, м	L	201,40
2	Ширина, м	B	30,64
3	Висота борту, м	D	15,03
4	Осадка, м	d	10,56
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,787
6	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	C_m	0,995
7	Коефіцієнт повноти площі ВВЛ	C_W	0,915
8	Швидкість ходу експлуатаційна або специфікаційна, вузли	v_0	15,7
9	Відношення L/D	L/D	13,4
10	Відношення B/D	B/D	2,0

Відношення головних розмірів L/D та B/D пп. 9, 10 табл. 2.1 задовольняють вимогам $L/H \leq 18$, $B/H \leq 2,5$ для відношення головних розмірів. Згідно рекомендацій для виготовлення суднового корпусу використано суднобудівну сталь з границею плинності $R_{eH}=355$ МПа, яка пропонована при довжині судна

близько 200 м, а температура експлуатації можлива при нижчій за -20°C . Основні механічні характеристики прийнятої сталі представлено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні механічні характеристики прийнятої сталі

№	Найменування величини	Позначення	Значення
1	Марка сталі	–	10Г2С1Д
2	Границя плинності, МПа	R_{eH}	355
3	Коефіцієнт використання механічних властивостей	η	0,72
4	Нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа	$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$	326,4
5	Нормативна границя плинності за дотичними напруженнями, МПа	$\tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n$	186,0

В табл. 2.3 представлено розрахунок характерних розмірів мідель-шпангоута.

Таблиця 2.3 – Розміри мідель-шпангоута

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Нормальна шпация, м	a_0	$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48$	0,88
2	Прийнята шпация, м	a_0		0,8
3	Підйом t лінії днища, м	t	$t = d \cdot (1 - C_m)$	0,05
4	Прийняте t , м	t		0,05
5	Розрахункова висота подвійного дна, м	h_2	$h_2 = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} \geq 0,65$	1,33
6	Прийнята висота подвійного дна, м	h_2	–	2
7	Радіус заокруглення скули, м	R	$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}}$	1,69
8	Прийняте R , м	R	–	2,00
9	Ширина горизонтального кіля, мм	b_k	$b_k = 800 + 5L \leq 2000$	1807
10	Прийнята ширина горизонтального кіля, мм	b_k	–	2000

Внутрішнє дно на судні простягається від форпикової до ахтерпикової перегородки та від борту до борту. Крайній пояс внутрішнього дна (міждонний лист) горизонтальний. Комінгс верхньої палуби знаходиться в одній площині з днищевими стрингерами і співпадає з внутрішнім бортом. Місця розміщення

поздовжніх балок основного набору позначаються, починаючи від діаметральної площини, і не збігаються з пазами листів. Мінімальна відстань між паралельними зварними швами (наприклад, пазами поздовжніх листів і лініями зварювання поздовжніх балок) становить 75 мм. На рис. 2.1 представлено ескіз поперечного перерізу в масштабі з відзначенням монтажних стиків листових поясів борту і координат, необхідних для розрахунку міцності листових та балочних елементів корпусу судна.

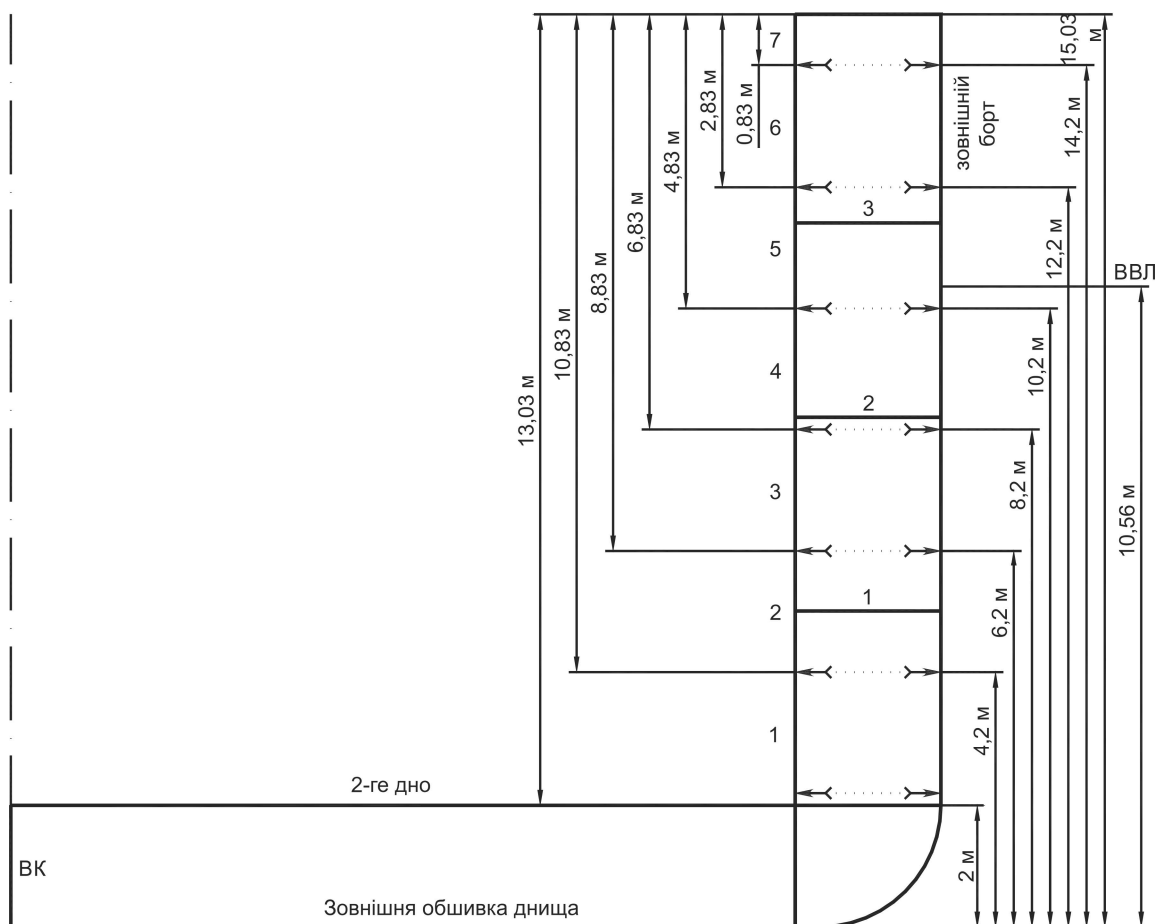


Рис. 2.1. Схема розташування листових поясів та характерні координати

2.2 Розрахункові навантаження

Розрахунковий статичний тиск P_{st} , кПа, для точок, які розташовані нижче ватерлінії, визначається за формулою

$$P_{st} = 10 \cdot z_i, \quad (1)$$

де z_i – відстань точок прикладання навантаження від ватерлінії вниз, м.

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

$$P = P_{st} + P_w, \quad (2)$$

а для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії за формулою

$$P = P_w. \quad (3)$$

В табл. 2.5 представлено формули, за якими проводився розрахунок навантажень від дії моря в міделевому перерізі.

Таблиця 2.4 – Залежності для розрахунку навантажень від дії моря

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього (носового або кормового) перпендикуляра, м.	x_1	$x_1 = 0,5 L$	100,70
2	Координата z_i уверх від рівня ВЛ, м	z_i	—	—
3	Координата z_i вниз від рівня ВЛ, м	z_i	—	—
4	Коефіцієнт, який приймається	k_x	$k_x = 1,0$ для міделя; $k_x = 0,8$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя; $k_x = 0,5$ – для поперечних перерізів в корму від міделя	1
5	Коефіцієнт	a_v	$a_v = \frac{0,8 \cdot v_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5$	2,032
6	Коефіцієнт	a_x	$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267$	0,267
7	Добуток $a_v \cdot a_x$	—	$a_v \cdot a_x \geq 0,6$	0,6
8	Коефіцієнт	φ_r	$\varphi_r = 1$ для необмеженого району плавання	1

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
9	Коефіцієнт	C_w	$C_w = 0,0856 L \cdot \varphi_r$ при $L < 90$ м ; $C_w = \left[10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \cdot \varphi_r$ при $90 \leq L \leq 300$ м ; $C_w = 10,75 \cdot \varphi_r$ при $300 < L \leq 350$ м ;	9,771
10	Хвильовий тиск на рівні ВЛ, кПа	P_{w0}	$P_{w0} = 5 C_w \cdot a_v \cdot a_x$	29,3
11	Мінімальний тиск, кПа	$P_{\min}$	$P_{\min} = 0,03L + 5$	11,0
12	Тиск для точок вище ВЛ, кПа	P_w	$P_w = P_{w0} - 7,5 a_x z_i \geq P_{\min}$, z_i – за п. 2	—
13	Тиск для точок нижче ВЛ, кПа	P_w	$P_w = P_{w0} - \frac{1,5 C_w z_i}{d}$, z_i – за п. 3	—

В табл. 2.5 представлено формули, за якими проводився розрахунок навантажень від дії вантажу, який перевозиться в міделевому перерізі.

Таблиця 2.5 – Залежності для розрахунку навантажень від дії вантажу та баласту

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відстань розглядуваної точки від поперечної площини, яка проходить через центр ваги судна, м	x_0	—	—
2	Відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м	y_0	—	—
3	Відстань по вертикалі розглядуваної точки прикладання навантаження від рівня вільної поверхні вантажу, м	z_i	—	—
4	Кут нахилу стінки до основної площини, рад	α	—	—
5	Питома вага вантажу, т/м ³	ρ_v	—	1,27
6	Прискорення вільного падіння, м/с ²	g	—	9,81
7	Кут внутрішнього тертя навалочного вантажу, град	$\varphi_{в.т.}$	—	28

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
8	Коефіцієнт	k_B	$k_{B1} = \sin^2 \alpha \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T.}}{2} \right) + \cos^2 \alpha,$ $k_{B2} = \cos \alpha,$ $k_B = \max(k_{B1}, k_{B2})$	—
9	Коефіцієнт	c	—	0,8
10	Метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м	h	$h = 0,07B$	2,14
11	Коефіцієнт	φ_r	$\varphi_r = 1$ для необмеженого району плавання	1
12	Розрахункове значення кута диференту, град	ψ	$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} \varphi_r$	0,076
13	Розрахункове значення крену, град	θ	$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} \varphi_r$	0,299
14	Період кильової качки, с	T_K	$T_K = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{v_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}$	11,1
15	Період бортової качки, с	T_6	$T_6 = \frac{cB}{\sqrt{h}}$	16,7
16	a_{cz} – проекція прискорення центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці, м/с ²	a_{cz}	$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} g \varphi_r$	1,554
17	a_{Kz} – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці від кильової качки, м/с ²	a_{Kz}	$a_{Kz} = \left(\frac{2\pi}{T_K} \right)^2 \psi x_0$	—
18	a_{6z} – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці від бортової качки, м/с ²	a_{6z}	$a_{6z} = \left(\frac{2\pi}{T_6} \right)^2 \theta y_0$	—
19	a_z – розрахункове прискорення у вертикальному напрямку, м/с ²	a_z	$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{Kz}^2 + 0,4a_{6z}^2}$	—
20	Розрахунковий тиск на конструкції вантажного об'єму, кПа	P_B	$P_B = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i \geq 20 \text{ кПа}$	—
21	Відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки, м	$h_{п.т.}$	$h_{п.т.} = D - h_2$	13,03

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
22	Випробувальний тиск на внутрішнє дно, кПа	$P_{\text{вип}}$	$P_{\text{вип}} = 7,5 h_{\text{п.т.}}$	97,8
23	Тиск аварійного затоплювання на внутрішнє дно, кПа	$P_{\text{а.з.}}$	$P_{\text{а.з.}} = 10,5 (d - h_2)$	89,9
24	Висота трубки над рівнем ВП, м	Δz	—	1,5
25	Відстань від ВП до розглядуваної точки	z_j	—	—
26	Питома густина морської води, т/м ³	ρ	—	1,025
27	Тиск запобіжного клапану, кПа	$P_{\text{к}}$	—	15
28	Тиск баласту на в'язь, кПа	$P_{\text{бал1}}$	$P_{\text{бал1}} = 0,75 \rho g (z_j + \Delta z)$	—
29	Тиск баласту на в'язь, кПа	$P_{\text{бал2}}$	$P_{\text{бал2}} = \rho g z_j + P_{\text{к}}$	—

В табл. 2.6, 2.7, 2.8 представлено величини тисків відповідно від дії моря та від дії вантажу і баласту в характерних точках, розрахованих відповідно за формулами (1), (2), (3) та табл. 2.4, 2.5. Для кожного поясу зовнішньої обшивки борту розраховано найбільший тиск, який має місце на нижній кромці кожного з поясів.

Таблиця 2.6 – Навантаження від дії моря в характерних точках

№	Відстань від ОП		Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Сумарний тиск $P = P_{st} + P_w$, кПа
	Опис	ζ , м			
1	Рівень ОП	0	105,6	14,7	120,3
2	Рівень ВЛ	10,56	0,0	29,3	29,3
3	Рівень ВП	15,03	0,0	20,4	20,4
4	Зовнішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	2,00	85,6	17,4	103,1
5	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	4,20	63,6	20,5	84,1
6	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	6,20	43,6	23,3	66,9
7	Зовнішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	8,2	23,6	26,0	49,7
8	Зовнішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	10,2	3,6	28,8	32,4

№	Відстань від ОП		Статичний	Хвильовий	Сумарний
9	Зовнішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	12,2	0,0	26,0	26,0
10	Зовнішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	14,2	0,0	22,0	22,0

Таблиця 2.7 – Навантаження від дії вантажу в характерних точках

№	Опис	Координата, м			Кут α , рад	P_v , кПа, за п. 20 табл. 2.5
		x_0	y_0	z_i		
1	Подвійне дно в місці з'єднання з внутрішнім бортом, на міделі	5,47	13,72	13,03	0,00	188,8
2	Внутрішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	5,47	13,72	13,03	1,57	68,2
3	Внутрішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	5,47	13,72	10,83	1,57	56,7
4	Внутрішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	5,47	13,72	8,83	1,57	46,2
5	Внутрішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	5,47	13,72	6,83	1,57	35,7
6	Внутрішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	5,47	13,72	4,83	1,57	25,3
7	Внутрішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	5,47	13,72	2,83	1,57	20
8	Внутрішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	5,47	13,72	0,83	1,57	20

Таблиця 2.8 – Навантаження від дії баласту

№	Опис	z_j , м, з табл. 2.5, п. 25	$P_{бал1}$, кПа, з табл. 2.5	$P_{бал2}$, кПа, з табл. 2.5	Найбільше $P_{бал} = \max(P_{бал1}, P_{бал2})$
1	Зовнішня обшивка днища	15,03	124,7	166,1	166,1
2	Подвійне дно	13,03	109,6	146,0	146,0
3	Внутрішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	13,03	109,6	146,0	146,0
4	Внутрішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	10,83	93,0	123,9	123,9
5	Внутрішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	8,83	77,9	103,8	103,8
6	Внутрішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	6,83	62,8	83,7	83,7
7	Внутрішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	4,83	47,7	63,6	63,6
8	Внутрішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	2,83	32,7	43,5	43,5
9	Внутрішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	0,83	17,6	23,3	23,3
10	Міжбортова платформа 1	9,83	85,4	113,8	113,8

№	Опис	Z_j , м, з табл. 2.5, п. 25	$P_{\text{бал1}}$, кПа, з табл. 2.5	$P_{\text{бал2}}$, кПа, з табл. 2.5	Найбільше $P_{\text{бал}} = \max(P_{\text{бал1}}, P_{\text{бал2}})$
11	Міжбортова платформа 2	6,63	61,3	81,7	81,7
12	Міжбортова платформа 3	3,43	37,2	49,5	49,5

Таблиця 2.9 – Характерні навантаження на окремі конструкції

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Тиск на ВП	$P_{\text{вп1}}$	$P_{\text{вп1}} = 0,7P_w$	14,3
2	Мінімальний тиск на ВП	P_{min}	$P_{\text{min}} = 0,015L + 7$	10,0
3	Прийнятий тиск на ВП	$P_{\text{вп}}$	$P_{\text{вп}} = \max(P_{\text{вп1}}, P_{\text{min}})$	14,3

На рис. 2.2 схематично в масштабі представлено епюри навантажень від дії моря, вантажу та баласту.

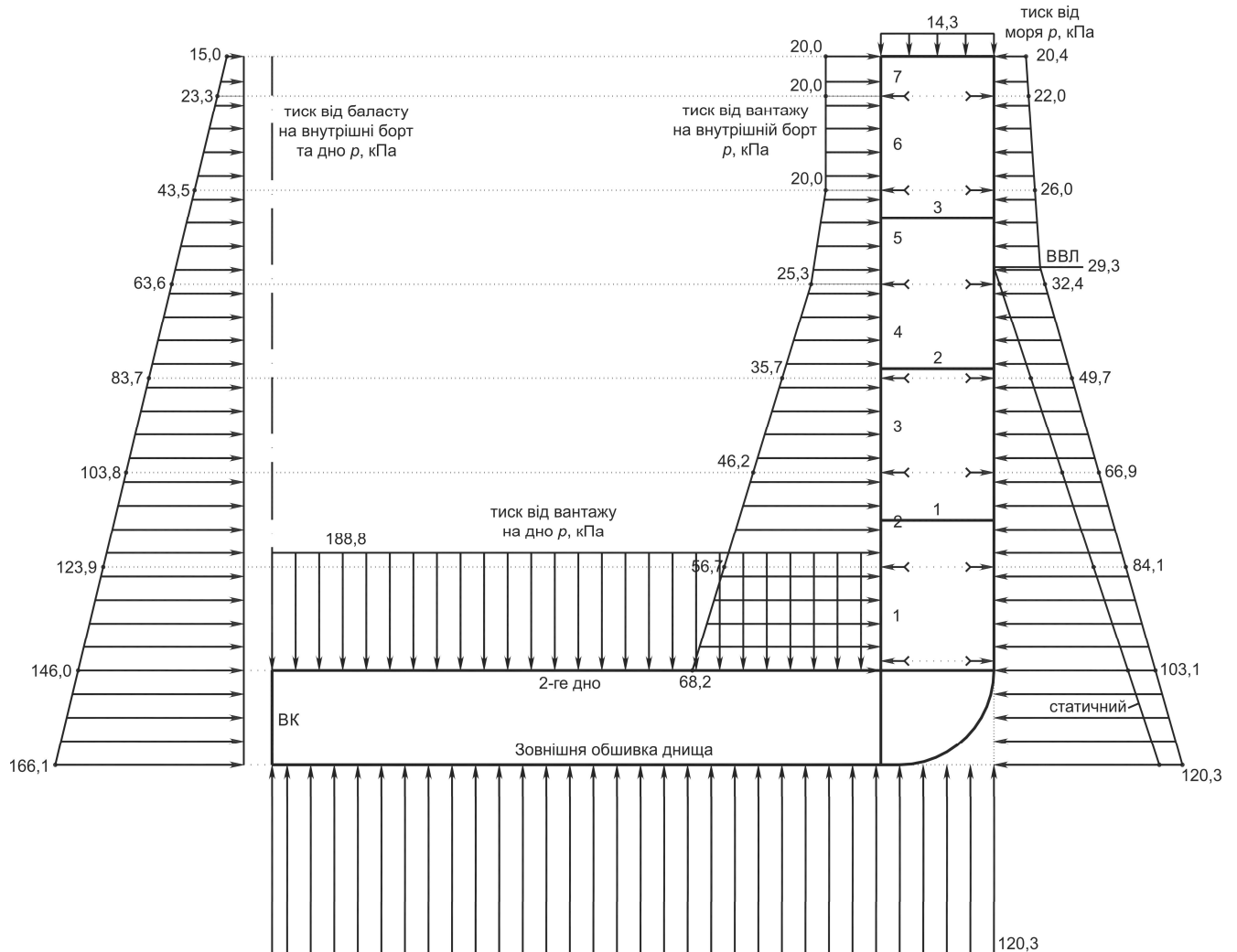


Рис. 2.2. Навантаження від дії моря, вантажу та баласту

2.3 Загальна поздовжня міцність судна

Параметри загальної поздовжньої міцності судна представлені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок параметрів загальної поздовжньої міцності судна

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Згинальний момент на тихій воді при перегині та прогині, кН·м	M_{sw}	$M_{sw} = \pm 76 C_w B L^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}$	1372452
2	Хвильовий згинальний момент, який викликає перегин КС, кН·м	M_{wh}	$M_{wh} = 190 C_w B L^2 C_b \cdot 10^{-3}$	1815988
3	Хвильовий згинальний момент, який викликає прогин КС,	M_{ws}	$M_{ws} = -110 C_w B L^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}$	-1986443
4	Сумарний згинальний момент при перегині , кН·м	$M_{\Sigma h}$	$M_{\Sigma h} = M_{sw} + M_{wh}$	3188440
5	Сумарний згинальний момент при прогині , кН·м	$M_{\Sigma s}$	$M_{\Sigma s} = -M_{sw} + M_{ws}$	-3358895
6	Найбільший за модулем розрахунковий згинальний момент у розглядуваному перерізі, кН·м	M_T	$M_T = M_{sw} + M_w $	3358895
7	Допустимі нормальні напруження, Мпа	σ	$\sigma = \frac{175}{\eta}$	243,0555556
8	Допустимі напруження на зріз, Мпа	τ	$\tau = \frac{110}{\eta}$	152,7777778
9	Мінімальний момент опору в середній частині КС, см ³	W_{min1}	$W_{min1} = \frac{M_T}{\sigma} 10^3$	13819454
10	Мінімальний момент опору в середній частині КС, см ³	W_{min2}	$W_{min2} = C_w B L^2 (C_b + 0,7) \eta$	13002175
11	Мінімальний момент інерції в середній частині судна, см ⁴	I_{min}	$I_{min} = 3 C_w B L^3 (C_b + 0,7)$	10911121689
12	Коефіцієнт	f_1	—	1
13	Коефіцієнт	f_2	—	0,92
14	Коефіцієнт	f_3	—	0,74
15	Зрізуюча сила при перегині та прогині на тихій воді, кН	N_{sw}	$N_{sw} = \pm 30 C_w B L (C_b + 0,7) f_3 \cdot 10^{-2}$	19905
16	Додатня хвильова перерізуюча сила, кН	N_{w+}	$N_{w+} = +30 C_w B L (C_b + 0,7) f_1 \cdot 10^{-2}$	26899

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
17	Від’ємна хвильова перерізувача сила, кН	N_{w-}	$N_{w-} = -30C_w BL(C_b + 0,7)f_2 \cdot 10^{-2}$	-24747

2.4 Визначення товщин листів

В табл. 2.11 представлено розрахунок мінімальних товщин, визначених з умов міцності. В загальному випадку товщина пластинчастих елементів корпусу судна повинна бути не меншою 4 мм.

Таблиця 2.11 – Розрахунок мінімальних товщин

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Зовнішня обшивка дна та бортів, мм	S_{min}	$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	11,5
2	Настил верхньої палуби судна, мм	S_{min}	$S_{min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	9,4
3	Настил другого дна, мм	S_{min}	$S_{min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	10,2
4	Стінка вертикального кіля та днищевих стрингерів, мм	S_{min}	$S_{min} = 0,025 \cdot L + 7$	12,0
5	Стінка суцільного флору, мм	S_{min}	$S_{min} = 0,035 \cdot L + 6$	13,0
6	Мінімальна будівельна товщина елементів конструкцій в подвійному дні, мм	S_{min}	$S_{min} = 0,025 \cdot L + 5,5$	10,5
7	Обшивка внутрішнього борту, мм	S_{min}	$S_{min} = 0,03 \cdot L + 4,5$	10,5

Врахування зносу та корозії на розміри в’язей корпусу побудоване на нормуванні міцності до середини строку служби конструкції. Потрібна товщина S , мм, для листових конструкцій визначається за формулою:

$$S = S' + \Delta S, \quad \Delta S = u \cdot (T - 12), \quad \text{мм}, \quad (4)$$

де S' – товщина листа, яка відповідає середині строку служби конструкції, мм; ΔS – запас на знос та корозію, мм; u – середньорічне зменшення товщини в’язі, мм/рік, внаслідок зносу та корозії (табл. 2.12); $T = 25$ – період служби конструкції, роки; якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$.

В табл. 2.12 представлено нормативні поправки до мінімальних товщин, які враховують знос та корозію, де ΔS визначено за (4).

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Нормативні поправки мінімальних товщин

№ пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік, група II	ΔS , мм
1	Настил палуб і платформ.		
1.1	Настил верхньої палуби	0,2	2,6
2	Бортова обшивка		
2.3.1	Зовнішня обшивка борту	0,21	2,73
3	Днищова обшивка		
3.2.3- 3.2.4	Зовнішня обшивка дна	0,2	2,6
4	Настил подвійного дна, скулових цистерн та трапецієдні опори під поперечними перегородками		
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,2	2,6
4.2.2	Міждонний лист	0,22	2,86
5	Обшивка поздовжніх і поперечних перегородок подвійного борту		
5.5.1	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,3	3,9
6	Набір палуб і платформ		
6.1.2	Поздовжні підпалубні балки та бімси палуб і платформ	0,15	1,95
7	Набір бортів і перегородок		
7.1.6	Поздовжні балки, основні та рамні шпангоути, розпірки, вертикальні стояки та горизонтальні рами бортів і перегородок	0,21	2,73
8	Набір днища та подвійного дна		
8.2.3	Вертикальний кіль, днищові стрингери, флори, поздовжні балки днища і подвійного дна у відсіках подвійного дна	0,2	2,6
9	Надбудови, рубки, фальшборт		
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,1	1,3

Розрахунок товщини пластинчастих елементів з умов міцності наведено в табл. 2.13, де у кожному випадку приймався найбільший тиск згідно розрахунків табл. 2.6 ÷ 2.9 та епюри на рис. 2.2. Відстань z_i , м, від ОП в табл. 2.13 для листових елементів кожного поясу взята для тієї точки, де діє найбільший тиск. Ця відстань необхідна для розрахунку коефіцієнту k_σ в деяких випадках.

Таблиця 2.13 – Розрахунок товщини пластинчатих елементів з умов міцності

№	Розрахункова точка	Відстань від ОП z_i , м	Менший розмір пластини a , м	Більший розмір пластини b , м	$k = 1,2 - 0,5(a/b) \leq 1$	Розрахунковий тиск P , кПа	k_σ	m	$S' = m a k \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}}$	ΔS , мм з табл. 2.12	Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	НОД	0	0,8	1,6	0,95	120,3	0,6	15,8	9,41	2,6	12,0
2	ВК і стрингери	0	0,67	1,6	0,99	166,1	0,75	15,8	8,64	2,6	11,2
3	Настил внутрішнього дна	2	0,8	1,6	0,95	188,8	0,8	15,8	10,21	2,6	12,8
4	Внутрішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	2,00	0,8	1,6	0,95	146,0	0,8	15,8	8,98	3,9	12,9
5	Внутрішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	4,20	0,8	1,6	0,95	123,9	0,8	15,8	8,27	3,9	12,2
6	Внутрішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	6,20	0,8	1,6	0,95	103,8	0,8	15,8	7,57	3,9	11,5
7	Внутрішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	8,2	0,8	1,6	0,95	83,7	0,8	15,8	6,80	3,9	10,7
8	Внутрішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	10,2	0,8	1,6	0,95	63,6	0,8	15,8	5,93	3,9	9,8
9	Внутрішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	12,2	0,8	1,6	0,95	43,5	0,8	15,8	4,90	3,9	8,8
10	Внутрішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	14,2	0,8	1,6	0,95	23,3	0,8	15,8	3,59	3,9	7,5
11	Зовнішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	2,00	0,8	1,6	0,95	103,1	0,6	15,8	8,71	2,73	11,4
12	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	4,20	0,8	1,6	0,95	84,1	0,6	15,8	7,87	2,73	10,6
13	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	6,20	0,8	1,6	0,95	66,9	0,594	15,8	7,05	2,73	9,8
14	Зовнішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	8,2	0,8	1,6	0,95	49,7	0,527	15,8	6,45	2,73	9,2
15	Зовнішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	10,2	0,8	1,6	0,95	32,4	0,461	15,8	5,57	2,73	8,3
16	Зовнішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	12,2	0,8	1,6	0,95	26,0	0,394	15,8	5,40	2,73	8,1
17	Зовнішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	14,2	0,8	1,6	0,95	22,0	0,328	15,8	5,45	2,73	8,2
18	Настил ВП	15,03	0,8	1,6	0,95	14,3	0,6	15,8	3,24	2,6	5,8
19	Настил міжбортової платформи 1	5,2	0,8	1,6	0,95	113,8	0,6	15,8	9,16	3,9	13,1
20	Настил міжбортової платформи 2	8,4	0,8	1,6	0,95	81,7	0,6	15,8	7,75	3,9	11,7
21	Настил міжбортової платформи 3	11,6	0,8	1,6	0,95	49,5	0,6	15,8	6,04	3,9	9,9

В табл. 2.14 представлено розрахунок допоміжних величин, необхідних для розрахунку стійкості пластинчастих елементів.

Таблиця 2.14 – Розрахунок допоміжних величини для стійкості пластин

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Відстань НО від ОП	e	$e = (0,34 + 0,02L \cdot 10^{-2})D$	5,72
2	Момент опору, см^3	W_d	п. 9 табл. 2.10	1,382E+07
3	Момент інерції, см^4	I	$I = W_d(D - e) \cdot 10^2$	1,288E+10

В табл. 2.15 пояснено формули та розрахункові величини, які використовуються для розрахунку товщин пластин з умов стійкості.

Таблиця 2.15 – Залежності для розрахунку товщини листів зовнішньої обшивки з умов стійкості

№	Найменування величини	Позначення	Формула
1	Відстань розрахункової точки від нейтральної осі (НО) зі своїм знаком, м. Примітка: вісь z – вниз	z_i	—
2	Стан: перегин/прогин	—	—
3	Сумарний згинальний момент, $\text{кН} \cdot \text{м}$	$M_\Sigma = M_{wh},$ $M_\Sigma = M_{ws}$	пп. 4, 5 табл. 2.10 в залежності від стану: перегин чи прогин
4	Стискуючі напруження, МПа	σ_c	$\sigma_c = \frac{M_\Sigma}{I} z_i \cdot 10^5 \geq \frac{30}{\eta}$
5	Коефіцієнт запасу стійкості для пластин	k	—
6	Критичні напруження, МПа	σ_{cr}	$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c$
7	Відношення	$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}}$	$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}}$
8	Ейлерові напруження	σ_e	$\sigma_e = \begin{cases} \sigma_{cr}, & \text{якщо } \frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} \leq 0,5; \\ \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}, & \text{якщо } \frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} > 0,5 \end{cases}$
9	Вільний бік пластини, м	a	—
10	Бік пластини, який сприймає нормальні стискальні напруження, м	b	—
11	Відношення сторін	γ	$\gamma = \frac{a}{b}$
12	Коефіцієнт нерівномірності	ψ	—

№	Найменування величини	Позначення	Формула
	розподілу нормальних напружень із табл. (1.6.5.5-1) Правил		
13	Коефіцієнт із табл. (1.6.5.5-1) Правил	ε	—
14	Коефіцієнт із табл. (1.6.5.5-1) Правил	n	$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1},$ якщо $\gamma > 1, 0 \leq \psi \leq 1.$
			$n = \varepsilon \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2 \cdot \frac{2,1}{\psi + 1,1},$ якщо $\gamma \leq 1, 0 \leq \psi \leq 1.$
			$n = 10\psi^2 - 6,4\psi + 7,6;$ якщо $\gamma > 1; -1 \leq \psi < 0.$
			$n = \varepsilon \left(10\psi^2 - 14\psi + 1,9(1 + \psi) \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2 \right);$ якщо $\gamma \leq 1; -1 \leq \psi < 0.$
15	Товщина без врахування корозії, мм	S'	$S' = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854n}}$
16	Додаток товщини, який враховує корозію, мм	ΔS	З табл. 2.12.
17	Товщина пластини, мм	S	$S = S' + \Delta S$

Розрахунок товщин листів набору на стійкість наведено в табл. 2.16. В цьому випадку враховуються згинальні моменти, які викликають стиск відповідної в'язі. Наприклад, для днищевої обшивки використовується згинальний момент, який викликає перегин, а для верхньої палуби – який викликає прогин. Ці моменти беруться з табл. 2.10. з пп. 4 і 5. При визначенні товщин поясів борту з умов стійкості приймалися до уваги найбільші за значенням стискуючі навантаження.

На рис. 2.3 представлено характерні координати при розрахунку стійкості.

Таблиця 2.16 – Розрахунок товщин пластин з умов стійкості

№	Розрахункова точка	z_i , м	Стан: перегин або прогин	M_{Σ}	σ_c , МПа	k	$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c$, МПа	σ_{cr} / R_{eH}	σ_e , МПа	a , м	b , м	$\lambda = a/b$	ψ	ε	n	S'	ΔS	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	НОД	5,72	перегин	3188440	141,6	1	141,6	0,40	141,6	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,00	11,06	2,6	13,7
2	ВК і стрингери	5,72	перегин	3188440	141,6	1	141,6	0,61	147,7	1,6	0,67	2,388	0,883	1,1	4,24	9,19	2,6	11,8
3	Настил внутрішнього дна	3,72	перегин	3188440	92,1	1	92,1	0,26	92,1	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,00	8,92	2,6	11,5
4	Внутрішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	3,72	перегин	3188440	92,1	1	92,1	0,26	92,1	1,6	0,8	2	0,785	1,1	4,46	8,45	3,9	12,3
5	Внутрішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	1,52	перегин	3188440	41,7	1	41,7	0,12	41,7	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,00	6,00	3,9	9,9
6	Внутрішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	-2,48	прогин	-3358895	64,7	1	64,7	0,18	64,7	1,6	0,8	2	0,677	1,1	4,73	6,87	3,9	10,8
7	Внутрішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	-4,48	прогин	-3358895	116,9	1	116,9	0,33	116,9	1,6	0,8	2	0,821	1,1	4,37	9,61	3,9	13,5
8	Внутрішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	-6,48	прогин	-3358895	169,0	1	169,0	0,48	169,0	1,6	0,8	2	0,877	1,1	4,25	11,72	3,9	15,6
9	Внутрішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	-8,48	прогин	-3358895	221,2	1	221,2	0,62	235,5	1,6	0,8	2	0,906	1,1	4,19	13,93	3,9	17,8
10	Внутрішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	-9,31	прогин	-3358895	242,9	1	242,9	0,68	281,0	1,6	0,8	2	0,914	1,1	4,17	15,25	3,9	19,1
11	Зовнішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	3,72	перегин	3188440	92,1	1	92,1	0,26	92,1	1,6	0,8	2	0,785	1,1	4,46	8,45	2,73	11,2
12	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	1,52	перегин	3188440	41,7	1	41,7	0,12	41,7	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,25	5,82	2,73	8,5
13	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	-2,48	прогин	-3358895	64,7	1	64,7	0,18	64,7	1,6	0,8	2	0,677	1,1	4,19	7,30	2,73	10,0
14	Зовнішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	-4,48	прогин	-3358895	116,9	1	116,9	0,33	116,9	1,6	0,8	2	0,821	1,1	4,17	9,84	2,73	12,6
15	Зовнішня обшивка борту, 5-й пояс	-6,48	прогин	-3358895	169,0	1	169,0	0,48	169,0	1,6	0,8	2	0,877	1,1	4,46	11,44	2,73	14,2

№	Розрахункова точка	z_i , м	Стан: перегин або прогин	M_{Σ}	σ_c , МПа	k	$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c$, МПа	σ_{cr} / R_{eH}	σ_e , МПа	a , м	b , м	$\lambda = a/b$	ψ	ε	n	S'	ΔS	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	від ОП																	
16	Зовнішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	-8,48	прогин	-3358895	221,2	1	221,2	0,62	235,5	1,6	0,8	2	0,906	1,1	4,00	14,26	2,73	17,0
17	Зовнішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	-9,31	прогин	-3358895	242,9	1	242,9	0,68	281,0	1,6	0,8	2	0,914	1,1	4,73	14,33	2,73	17,1
18	Настил ВП	-9,31	прогин	-3358895	242,9	1	242,9	0,68	281,0	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,37	14,89	2,6	17,5
19	Настил міжбортової платформи 1	0,52	перегин	3188440	41,7	1	41,7	0,12	41,7	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,25	5,82	3,9	9,7
20	Настил міжбортової платформи 2	-2,68	прогин	-3358895	69,9	1	69,9	0,20	69,9	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,19	7,59	3,9	11,5
21	Настил міжбортової платформи 3	-5,88	прогин	-3358895	153,4	1	153,4	0,43	153,4	1,6	0,8	2	1,000	1,1	4,17	11,27	3,9	15,2

В табл. 2.17 представлено вибір товщин листів на даному етапі, які у подальшому можуть бути скориговані, але не у меншу сторону.

Таблиця 2.17 – Остаточний вибір товщин листів

№	Назва листового елемента	Товщина S , мм				
		З умов міцності	З умов стійкості при дії σ	Мінімальна за Регістром	Найбільша	Прийнята
1	2	3	4	5	6	7
1	НОД	12,0	13,7	11,5	13,7	14
2	ВК і стрингери	11,2	11,8	12,0	12,0	13
3	Настил внутрішнього дна	12,8	11,5	10,2	12,8	13
4	Внутрішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	12,9	12,3	10,5	12,9	13
5	Внутрішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	12,2	9,9	10,5	12,2	13
6	Внутрішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	11,5	10,8	10,5	11,5	12
7	Внутрішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	10,7	13,5	10,5	13,5	14
8	Внутрішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	9,8	15,6	10,5	15,6	16
9	Внутрішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	8,8	17,8	10,5	17,8	18
10	Внутрішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	7,5	19,1	10,5	19,1	20
11	Зовнішня обшивка борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	11,4	11,2	11,5	11,5	12
12	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	10,6	8,5	11,5	11,5	12
13	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	9,8	10,0	11,5	11,5	12
14	Зовнішня обшивка борту, 4-й пояс від ОП	9,2	12,6	11,5	12,6	13
15	Зовнішня обшивка борту, 5-й пояс від ОП	8,3	14,2	11,5	14,2	15
16	Зовнішня обшивка борту, 6-й пояс від ОП	8,1	17,0	11,5	17,0	18
17	Зовнішня обшивка борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	8,2	17,1	11,5	17,1	18
18	Настил ВП	5,8	17,5	9,4	17,5	20
19	Настил міжбортової платформи 1	13,1	9,7	11,5	13,1	16
20	Настил міжбортової платформи 2	11,7	11,5	11,5	11,7	16

№	Назва листового елемента	Товщина S , мм				
		З умов міцності	З умов стійкості при дії σ	Мінімальна за Регістром	Найбільша	Прийнята
1	2	3	4	5	6	7
21	Настил міжбортової платформи 3	9,9	15,2	11,5	15,2	16

Розрахункова ширина палубного стрингера становить

$$b_c = 5L + 800 \leq 1800 = 1350 \text{ мм.} \quad (5)$$

Ширину подвійного борту b_2 приймаємо рівною 2,520 м, тобто $b_2 = 2,520$ м. Комінгс приймаємо на рівні внутрішнього борту. Приймаємо товщину всієї ВП рівною товщині внутрішнього борту на рівні ВП, тобто 20 мм (див. табл. 2.17). Товщину горизонтального кіля приймаємо $14 + 2 = 16$ мм.

2.5 Проектування ребер жорсткості набору

В табл. 2.18 представлені залежності, які використовуються для визначення мінімально необхідного моменту опору поперечного перерізу балок катаного профілю з умов міцності. Всі розрахунки міцності і стійкості балок набору ведуться з врахуванням приєднаного пояску обшивки. А тому геометричні характеристики поперечних перерізів балок набору визначаються для складеного перерізу катаного профілю разом з приєднаним пояском обшивки.

Таблиця 2.18 – Залежності для визначення мінімально необхідного моменту опору балок набору катаного профілю з умов міцності

№	Найменування величини	Позначення	Формула
1	Тиск, кПа	P	—
2	Відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м	a	—
3	Прогін балки, м	l	—
4	Поперечне навантаження на балку, кН	Q	$Q = P \cdot a \cdot l$
5	Коефіцієнт згинального	m	—

№	Найменування величини	Позначення	Формула
	моменту		
6	Коефіцієнт допустимих напружень	k_{σ}	—
7	Момент опору поперечного перерізу балки без урахування запасу на знос і корозію, см^3	W'	$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n}$
8	Коефіцієнт	α_k	$\alpha_k = \begin{cases} 0,07 + \frac{6}{W'} \leq 0,25, \text{ при } W' < 200 \text{ см}^3; \\ \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right), \text{ при } W' \geq 200 \text{ см}^3. \end{cases}$
9	Поправка товщини на корозію і знос, мм	ΔS	З табл. 2.12
10	Поправка на корозію і знос, мм	ω_k	$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$
11	Мінімально необхідний момент опору поперечного перерізу балки з врахуванням корозії та зносу, см^3 , з умови міцності на згин	W	$W = W' \cdot \omega_k$
12	Коефіцієнт для зрізуючої сили	n	—
13	Максимальна зрізуюча сила, кН	$N_{\max}$	$N_{\max} = n P a l$
14	Коефіцієнт допустимих дотичних напружень	k_{τ}	—
15	Площа стінки балки без урахування запасу на знос і корозію, см^3	f_c'	$f_c' = \frac{10 N_{\max}}{k_{\tau} \cdot \tau_n}$
16	Мінімально необхідна площа стінки балки з врахуванням корозії та зносу, см^2 , з умови міцності на зріз	f_c	$f_c = f_c' \cdot \omega_k$
17	Ширина приєднаного пояску обшивки, м, балок основного набору	a_n	$a_n = \min \left(\frac{l}{6}; \frac{a_1 + a_2}{2} \right),$ де a_1, a_2 — відстань від розглядуваної балки до найближчих сусідніх балок того ж напрямку, розташованих по обидва боки від неї, м.

В табл. 2.19 представлено розрахунок мінімально необхідних моментів опору та площ поперечних перерізів балок набору катаних профілів відповідно з умов міцності на згин та зріз.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.19 – Розрахунок мінімально необхідних моментів опору та площ поперечних перерізів балок набору катаних профілів відповідно з умов міцності на згин та зріз

№	Опис	P , кПа	a , м	l ,м	Q , кН	m	k_{σ}	W' , см ³	α_k	ΔS , мм	ω_k	W , см ³	n	N_{max} , кН	k_{τ}	f'_c , см ²	f_c , см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Балки НОД	120,3	0,8	1,6	154,0	12	0,45	139,8	0,1129	2,6	1,294	180,8	0,5	77,0	0,5625	7,36	9,52
2	Балки ВК і стрингерів	166,1	0,67	1,6	178,1	12	0,75	97,0	0,1319	2,6	1,343	130,2	–	–	–	–	–
3	Балки настилу внутрішнього дна	188,8	0,8	1,6	241,7	12	0,6	164,5	0,1065	2,6	1,277	210,1	0,5	120,8	0,8125	7,99	10,21
4	Балки внутрішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	146,0	0,8	1,6	186,9	12	0,65	117,4	0,1211	2,73	1,331	156,3	0,5	93,4	0,65	7,73	10,28
5	Балки внутрішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	123,9	0,8	1,6	158,6	12	0,65	99,7	0,1302	2,73	1,355	135,1	–	–	–	–	–
6	Балки внутрішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	103,8	0,8	1,6	132,9	12	0,65	83,5	0,1419	2,73	1,387	115,8	–	–	–	–	–
7	Балки внутрішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	83,7	0,8	1,6	107,1	12	0,65	67,3	0,1591	2,73	1,434	96,6	–	–	–	–	–
8	Балки внутрішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	63,6	0,8	1,6	81,4	12	0,65	51,2	0,1873	2,73	1,511	77,3	–	–	–	–	–
9	Балки внутрішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	43,5	0,8	1,6	55,7	12	0,65	35,0	0,2415	2,73	1,659	58,1	–	–	–	–	–
10	Балки внутрішньої обшивки борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	23,3	0,8	1,6	29,8	12	0,65	18,7	0,2500	2,73	1,683	31,5	–	–	–	–	–
11	Балки зовнішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	103,1	0,8	1,6	132,0	12	0,65	82,9	0,1423	2,73	1,389	115,2	–	–	–	–	–
12	Балки зовнішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	84,1	0,8	1,6	107,6	12	0,65	67,7	0,1587	2,73	1,433	97,0	–	–	–	–	–
13	Балки зовнішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	66,9	0,8	1,6	85,6	12	0,65	53,8	0,1815	2,73	1,495	80,5	–	–	–	–	–
14	Балки зовнішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	49,7	0,8	1,6	63,6	12	0,65	40,0	0,2201	2,73	1,601	64,0	–	–	–	–	–
15	Балки зовнішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	32,4	0,8	1,6	41,5	12	0,65	26,1	0,2500	2,73	1,683	43,9	–	–	–	–	–
16	Балки зовнішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	26,0	0,8	1,6	33,3	12	0,65	20,9	0,2500	2,73	1,683	35,2	–	–	–	–	–
17	Балки зовнішньої обшивки борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	22,0	0,8	1,6	28,2	12	0,65	17,7	0,2500	2,73	1,683	29,8	–	–	–	–	–

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КР.135.4111.Б1.ПЗ.02

Арк.

№	Опис	P , кПа	a , м	l ,м	Q , кН	m	k_{σ}	W' , см ³	α_k	ΔS , мм	ω_k	W , см ³	n	$N_{\max}$, кН	k_{τ}	f'_c , см ²	f_c , см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
18	Балки настилу ВП	14,3	0,8	1,6	18,3	12	0,45	16,6	0,2500	1,95	1,488	24,7	—	—	—	—	—
19	Балки настилу міжбортової платформи 1	113,8	0,8	1,6	145,7	12	0,65	91,6	0,1355	2,73	1,370	125,5	—	—	—	—	—
20	Балки настилу міжбортової платформи 2	81,7	0,8	1,6	104,5	12	0,65	65,7	0,1613	2,73	1,440	94,6	—	—	—	—	—
21	Балки настилу міжбортової платформи 3	49,5	0,8	1,6	63,3	12	0,65	39,8	0,2207	2,73	1,603	63,8	—	—	—	—	—

В подальшому потрібно підбирати відповідні профілі за певним сортаментом з умов одночасного забезпечення **міцності на згин та стійкості**, а для цього необхідно розраховувати геометричні характеристики складених поперечних перерізів профілів з врахуванням приєднаного пояску обшивки. Нижче наведені відповідні точні формули для розрахунку вказаних геометричних характеристик.

Головний центральний момент інерції i , см^4 , складеного поперечного перерізу профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$i = i_{\text{пр}} + c \cdot t \cdot \left(\frac{t^2}{12} + \left(y_0 + \frac{t}{2} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{c \cdot t}{f_{\text{пр}} + c \cdot t} \right) \right), \quad (6)$$

де $i_{\text{пр}}$ – головний центральний момент інерції ізолюваного профілю з сортаменту, см^4 , який згідно сортаменту ГОСТ 21937 – 76 має позначення I_x ; c – ширина приєднаного пояску, см ; t – товщина приєднаного пояску, см ; y_0 – відстань від початку стінки до центру мас поперечного перерізу ізолюваного профілю, см (див. позначення сортаменту); $f_{\text{пр}}$ – площа поперечного перерізу ізолюваного профілю, см^2 .

Мінімальний момент опору W_{min} , см^3 , складеного поперечного перерізу профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$W_{\text{min}} = \frac{c \cdot t^3 \cdot (c \cdot t + 4f_{\text{пр}}) + 12 \{ c \cdot t \cdot [f_{\text{пр}} \cdot y_0 (t + y_0) + i_{\text{пр}}] + f_{\text{пр}} \cdot i_{\text{пр}} \}}{6 \{ c \cdot t \cdot (t + 2h_{\text{пр}}) + 2f_{\text{пр}} (h_{\text{пр}} - y_0) \}}, \quad (7)$$

де $h_{\text{пр}}$ – висота ізолюваного профілю, см .

Площа складеного поперечного перерізу f , см^2 , профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

$$f = c \cdot t + f_{\text{пр}}. \quad (8)$$

Необхідна і достатня умова забезпечення міцності на згин визначається умовою

$$W_{\phi} \geq W \quad (9)$$

де W_{ϕ} – мінімальний момент опору складеного перерізу підібраного профілю за сортаментом з приєднаним пояском обшивки або фактичний момент опору, см^3 ;

W – мінімально необхідний момент опору поперечного перерізу балки (профіль + приєднаний поясok обшивки) з врахуванням корозії та зносу за п. 11, табл. 2.18.

Ейлерові напруження σ_e для ребер жорсткості визначаються залежністю

$$\sigma_e = \frac{206i}{f \cdot l^2}, \quad (10)$$

де i – момент інерції, см^4 , складеного поперечного перерізу профілю з приєднаним пояском, який розрахований для товщини пояса, зменшеної на величину ΔS , (табл. 1.6.5.5-2 Правил); f – площа, см^2 , складеного поперечного перерізу профілю з приєднаним пояском, який розрахований для товщини пояса, зменшеної на величину ΔS , (табл. 1.6.5.5-2 Правил); l – прогін балки, м. Розрахунок ейлеревих напружень σ_e за (10) ведеться без врахування зносу та корозії. Величини i та f у формулі (10) визначені відповідно залежностями (6) та (8).

Критичні напруження σ_{cr} для балок набору визначаються залежністю

$$\sigma_{cr} = \begin{cases} \sigma_e & \text{при } \sigma_e \leq 0,5R_{eH}; \\ R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) & \text{при } \sigma_e > 0,5R_{eH}. \end{cases} \quad (11)$$

Стійкість балок набору (і конструкцій взагалі) вважається забезпеченою, якщо виконується умова

$$k\sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad (12)$$

де $k = 1,1$ для балок набору; σ_c – визначається за 4-ю формулою табл. 2.15 і прийняті за стовбцем 6 табл. 2.16, що відповідає найбільш несприятливому випадку для балок кожного з поясів бортової обшивки.

Іноді необхідно підбирати профіль з умови міцності на зріз. Підбір профілю з умов міцності на зріз виконується за умови, якщо

$$\frac{l}{h} < 10, \quad (13)$$

де l – прогін балки; h – висота балки.

Необхідна і достатня умова забезпечення міцності на зріз визначається умовою

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$f_{\phi} \geq f_c, \quad (14)$$

де f_{ϕ} – площа стінки ізолюваного профілю балки за сортаментом або фактична площа, яка працює на зріз, см^2 ; f_c – необхідна площа стінки профілю балки з врахуванням корозії та зносу за п. 16, табл. 2.18.

Величина f_{ϕ} визначається залежністю

$$f_{\phi} = h_c \cdot s_{\text{пр}} = 0,875 h_{\text{пр}} \cdot s_{\text{пр}}, \quad (15)$$

де $h_{\text{пр}}$ – висота ізолюваного профілю, яка вказана у сортаменті, см ; $s_{\text{пр}}$ – товщина стінки профілю, см ; $h_c = 0,875 h_{\text{пр}}$ – висота стінки профілю (при відкиданні бульба).

Підбираючи необхідний профіль із сортаменту, обираємо найменший номер профілю, при якому одночасно забезпечується умова міцності на згин (9) та умова стійкості (12).

Якщо виникне необхідність підбору профілю додатково з умови міцності на зріз, то обираємо найменший номер профілю, при якому одночасно забезпечується умова міцності на згин (9), умова стійкості (12) та умова міцності на зріз (14).

Підбирати необхідні профілі з умов забезпечення міцності на згин та стійкості будемо за сортаментом ГОСТ 21937 – 76 «Полособульб гарачекатаний несиметричний для суднобудування».

В табл. 2.20 представлено підбір профілів із сортаменту ГОСТ 21937 – 76 з умов одночасного забезпечення міцності на згин та зріз (де потрібно) та стійкості.

Таблиця 2.20 – Необхідні катані профілі з умов міцності на згин, зріз та стійкість з сортаменту ГОСТ 21937 – 76

№	Опис	Ширина приєднаного пояску s , см	Товщина приєднаного пояску t , см, ст. 7, табл.2,17	Необхідний момент опору W , см ³ , ст. 13, табл. 2.19	Параметри профілю з приєднаним пояском						Довжина прольоту l , м	Відношення h_{np}/l	Необхідність підбору профілю з умови міцності на зріз (при $h_{np}/l < 10$ – так)	Необхідна площа стінки f_c , см ² , ст. 18, табл. 2.19	Фактична площа стінки f_{ϕ} , см ²	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження σ_{cr} , МПа	Стискуючі навантаження σ_c , МПа	Умова стійкості $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$
					Фактичний момент опору W_{ϕ} , см ³	№ за сортаментом	Момент інерції i , см ⁴	Площа f , см ²	Товщина стінки профілю s_{np} , см	Висота профілю h_{np} , см									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Балки НОД	27	1,4	180,8	186,7	18а	2674,92	59,98	0,9	18	1,6	8,9	так	9,52	14,18	3588,7	346,2	141,6	так
2	Балки ВК і стрингерів	27	1,3	130,2	138,0	16а	1801,04	53,04	–	16	1,6	10,0	ні	–	–	2732,4	343,5	141,6	так
3	Балки настилу внутрішнього дна	27	1,3	210,1	246,5	20а	3686,75	62,46	1	20	1,6	8,0	так	10,21	17,50	4749,7	348,4	92,1	так
4	Балки внутрішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	27	1,3	156,3	184,8	18а	2603,54	57,28	0,90	18	1,6	8,9	так	10,28	14,18	3657,5	346,4	92,1	так
5	Балки внутрішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	27	1,3	135,1	138,0	16а	1801,04	53,04	0,80	16	1,6	10,0	ні	–	–	2732,4	343,5	41,7	так
6	Балки внутрішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	27	1,2	115,8	136,5	16а	1750,89	50,34	0,80	16	1,6	10,0	ні	–	–	2798,8	343,7	64,7	так
7	Балки внутрішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	27	1,4	96,6	99,5	14а	1205,99	51,85	0,70	14	1,6	11,4	ні	–	–	1871,6	338,2	116,9	так
8	Балки внутрішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	27	1,6	77,3	101,4	14а	1261,87	57,25	0,70	14	1,6	11,4	ні	–	–	1773,6	337,2	169,0	так
9	Балки внутрішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	27	1,8	58,1	72,1	12	817,11	59,73	0,65	12	1,6	13,3	ні	–	–	1100,8	326,4	221,2	так
10	Балки внутрішньої обшивки	27	2	31,5	37,8	9	348,67	61,03	0,55	9	1,6	17,8	ні	–	–	459,7	286,5	242,9	так

№	Опис	Ширина приєднаного поясу s , см	Товщина приєднаного поясу t , см, ст. 7, табл.2,17	Необхідний момент опору W , см ³ , ст. 13, табл. 2.19	Параметри профілю з приєднаним пояском						Довжина прольоту l , м	Відношення $h_{пр}/l$	Необхідність підбору профілю з умови міцності на зріз (при $h_{зм}/l < 10$ – так)	Необхідна площа стінки f_c , см ² , ст. 18, табл. 2.19	Фактична площа стінки $f_{ф}$, см ²	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження σ_{cr} , МПа	Стискуючі навантаження σ_c , МПа	Умова стійкості $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$
					Фактичний момент опору $W_{ф}$, см ³	№ за сортаментом	Момент інерції i , см ⁴	Площа f , см ²	Товщина стінки профілю $s_{пр}$, см	Висота профілю $h_{пр}$, см									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)																		
11	Балки зовнішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	27	1,2	115,2	136,5	16а	1750,89	50,34	0,80	16	1,6	10,0	ні	–	–	2798,8	343,7	92,1	так
12	Балки зовнішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	27	1,2	97,0	97,4	14а	1145,03	46,45	0,70	14	1,6	11,4	ні	–	–	1983,6	339,1	41,7	так
13	Балки зовнішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	27	1,2	80,5	97,4	14а	1145,03	46,45	0,70	14	1,6	11,4	ні	–	–	1983,6	339,1	64,7	так
14	Балки зовнішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	27	1,3	64,0	68,4	12	730,51	46,23	0,65	12	1,6	13,3	ні	–	–	1271,5	330,2	116,9	так
15	Балки зовнішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	27	1,5	43,9	46,6	10	443,63	49,13	0,60	10	1,6	16,0	ні	–	–	726,6	311,6	169,0	так
16	Балки зовнішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	27	1,8	35,2	36,6	9	332,21	55,63	0,55	9	1,6	17,8	ні	–	–	480,5	289,4	221,2	так
17	Балки зовнішньої обшивки борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	27	1,8	29,8	36,6	9	332,21	55,63	0,55	9	1,6	17,8	ні	–	–	480,5	289,4	242,9	так
18	Балки настилу ВП	27	2	24,7	37,8	9	348,67	61,03	0,55	9	1,6	17,8	ні	–	–	459,7	286,5	242,9	так

№	Опис	Ширина приєднаного пояску s , см	Товщина приєднаного пояску t , см, ст. 7, табл.2,17	Необхідний момент опору W , см ³ , ст. 13, табл. 2.19	Параметри профілю з приєднаним пояском						Довжина прольоту l , м	Відношення $h_{пр}/l$	Необхідність підбору профілю з умови міцності на зріз (при $h_{зм}/l < 10$ – так)	Необхідна площа стінки f_c , см ² , ст. 18, табл. 2.19	Фактична площа стінки $f_{ф}$, см ²	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження σ_{cr} , МПа	Стискуючі навантаження σ_c , МПа	Умова стійкості $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$
					Фактичний момент опору $W_{ф}$, см ³	№ за сортаментом	Момент інерції I , см ⁴	Площа f , см ²	Товщина стінки профілю $s_{пр}$, см	Висота профілю $h_{пр}$, см									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	Балки настилу міжбортвої платформи 1	27	1,6	125,5	142,1	16а	1937,07	61,14	0,80	16	1,6	10,0	ні	–	–	2549,5	342,6	41,7	так
20	Балки настилу міжбортвої платформи 2	27	1,6	94,6	101,4	14а	1261,87	57,25	0,70	14	1,6	11,4	ні	–	–	1773,6	337,2	69,9	так
21	Балки настилу міжбортвої платформи 3	27	1,6	63,8	70,7	12	783,61	54,33	0,65	12	1,6	13,3	ні	–	–	1160,6	327,9	153,4	так

З табл. 2.20 видно, що профілі балок НОД (№1) та балок настилу внутрішнього дна (№3) необхідно додатково було підбирати з умов міцності на зріз, звісно із одночасним забезпеченням умови міцності на згин за мінімальним моментом опору та стійкості, як про це йшла мова вище.

Таблиця 2.21 – Остаточний вибір балок набору

№	Опис	Найменший номер профілю з умов міцності на згин, зріз та стійкість, ст. 7, табл. 2.20	Прийнятий номер профілю
1	2	3	4
1	Балки НОД	18а	18а
2	Балки ВК і стрингерів	16а	16а
3	Балки настилу внутрішнього дна	20а	20а
4	Балки внутрішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	18а	18а
5	Балки внутрішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	16а	16а
6	Балки внутрішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	16а	16а
7	Балки внутрішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	14а	14а
8	Балки внутрішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	14а	14а
9	Балки внутрішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	12	12
10	Балки внутрішньої обшивки борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	9	9
11	Балки зовнішньої обшивки борту, 1-й пояс від ОП (примикає до скули)	16а	16а
12	Балки зовнішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	14а	14а
13	Балки зовнішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	14а	14а
14	Балки зовнішньої обшивки борту, 4-й пояс від ОП	12	12
15	Балки зовнішньої обшивки борту, 5-й пояс від ОП	10	10
16	Балки зовнішньої обшивки борту, 6-й пояс від ОП	9	9
17	Балки зовнішньої обшивки борту, 7-й пояс від ОП (примикає до ВП)	9	9
18	Балки настилу ВП	9	9
19	Балки настилу міжбортової платформи 1	16а	16а
20	Балки настилу міжбортової платформи 2	14а	14а
21	Балки настилу міжбортової платформи 3	12	12

Остаточний вибір балок набору може бути скоригований, але не в меншу сторону.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

2.6 Перевірка загальної поздовжньої міцності

На рис. 2.4 представлено схему еквівалентного бруса в масштабі. У міжбортовому просторі розташовані поздовжні горизонтальні платформи, які по-перше додають жорсткості при крученні, тому що судно має велику ширину люка і поперечний переріз є по-суті незамкнутим; по-друге розділяють міжбортний простір для розміщення там потрібних запасів і можливості баластування за допомогою роздільних відсіків, розташованих на різній висоті. Остаточні товщини і номери профілів, які прийняті в еквівалентному брусі відрізняються від тих, які були розраховані вище і є не меншими від розрахованих. Це зумовлено необхідністю виконання умов щодо забезпечення нормативних моменту інерції та опору, а також врахуванням складних факторів, які не можуть бути висвітлені в рамках даної роботи. Остаточні товщини ВП обґрунтовуються розташуванням механізмів на ВП, які потребують посиленого фундаменту, а для борту – необхідністю виконання складних швартовних операцій.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовнішня обшивка борту; НОД – наружна обшивка днища; ГК – горизонтальний киль; ВК – вертикальний киль; ВОБ – внутрішня обшивка борту; РЖ – ребро жорсткості.

Таблиця 2.22 – Таблиця еквівалентного бруса

№	Назва в'язі	t	b	z	n	Площа F , м^2	Статичний момент $S_x =$ $F \cdot z$, м^3	Переносний момент інерції $I_{xtr} =$ $F \cdot z^2$, м^4	Власний момент інерції i , м^4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ГК	18	1000	0	1	1,8000E-02	0,0000E+00	0,0000E+00	4,8600E-07
2	обшивка НОД	16	1232 0	0	1	1,9712E-01	0,0000E+00	0,0000E+00	4,2052E-06
3	лист скули	16	2000	0,73	1	3,2000E-02	2,3256E-02	1,6902E-02	1,0667E-02
4	ВК	13	2000	1	1	2,6000E-02	2,6000E-02	2,6000E-02	8,6667E-03
5	Днищ. стрингери	13	2000	1	5	6,5000E-01	6,5000E-01	6,5000E-01	4,3333E-02
6	Настил 2-го дна	16	1532 0	2	1	3,8503E-01	7,7007E-01	1,5401E+00	8,5593E+00
7	ВОБ 1	20	2200	3,1	1	4,4000E-02	1,3640E-01	4,2284E-01	1,7747E-02
8	ВОБ 2	20	2000	5,2	1	4,0000E-02	2,0800E-01	1,0816E+00	1,3333E-02
9	ВОБ 3	20	2000	7,2	1	4,0000E-02	2,8800E-01	2,0736E+00	1,3333E-02
10	ВОБ 4	20	2000	9,2	1	4,0000E-02	3,6800E-01	3,3856E+00	1,3333E-02
11	ВОБ 5	30	2000	11,2	1	6,0000E-02	6,7200E-01	7,5264E+00	2,0000E-02
12	ВОБ 6	30	2000	13,2	1	6,0000E-02	7,9200E-01	1,0454E+01	2,0000E-02
13	ВОБ 7	30	830	14,62	1	2,4900E-02	3,6391E-01	5,3186E+00	1,4295E-03
14	ЗОБ 1	20	2200	3,1	1	4,4000E-02	1,3640E-01	4,2284E-01	1,7747E-02
15	ЗОБ 2	20	2000	5,2	1	4,0000E-02	2,0800E-01	1,0816E+00	1,3333E-02
16	ЗОБ 3	20	2000	7,2	1	4,0000E-02	2,8800E-01	2,0736E+00	1,3333E-02
17	ЗОБ 4	20	2000	9,2	1	4,0000E-02	3,6800E-01	3,3856E+00	1,3333E-02
18	ЗОБ 5	30	2000	11,2	1	6,0000E-02	6,7200E-01	7,5264E+00	2,0000E-02
19	ЗОБ 6	30	2000	13,2	1	6,0000E-02	7,9200E-01	1,0454E+01	2,0000E-02
20	ЗОБ 7	30	830	14,62	1	2,4900E-02	3,6391E-01	5,3186E+00	1,4295E-03
21	настил ВП	30	2520	15,03	1	7,5600E-02	1,1363E+00	1,7078E+01	5,6700E-06
22	настил міжб. платформи 1	30	2520	5,2	1	7,5600E-02	3,9312E-01	2,0442E+00	5,6700E-06
23	настил міжб. платформи 2	30	2520	8,4	1	7,5600E-02	6,3504E-01	5,3343E+00	5,6700E-06
24	настил міжб. платформи 3	30	2520	11,6	1	7,5600E-02	8,7696E-01	1,0173E+01	5,6700E-06
25	РЖ НОД	18а		0,09	15	3,3270E-02	2,9943E-03	2,6949E-04	1,0688E-04
26	РЖ ВК і	16а		0,66	6	1,0764E-02	7,1042E-03	4,6888E-03	7,6320E-07

№	Назва в'язі	t	b	z	n	Площа F , м^2	Статичний момент $S_x =$ $F \cdot z$, м^3	Переносний момент інерції $I_{x\ tr} =$ $F \cdot z^2$, м^4	Власний момент інерції i , м^4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	стрингерів								
27	РЖ ВК і стрингерів	16а		1,32	6	1,0764Е-02	1,4208Е-02	1,8755Е-02	7,6320Е-07
28	РЖ настилу 2-го дня	20а		1,88	13	3,5568Е-02	6,6868Е-02	1,2571Е-01	1,4084Е-04
29	РЖ ВОБ	18а		2,79	1	2,2180Е-03	6,1882Е-03	1,7265Е-02	1,8550Е-07
30	РЖ ВОБ	18а		3,59	1	2,2180Е-03	7,9626Е-03	2,8586Е-02	1,8550Е-07
31	РЖ ВОБ	18а		4,39	1	2,2180Е-03	9,7370Е-03	4,2746Е-02	1,8550Е-07
32	РЖ ВОБ	18а		5,99	1	2,2180Е-03	1,3286Е-02	7,9582Е-02	1,8550Е-07
33	РЖ ВОБ	18а		6,79	1	2,2180Е-03	1,5060Е-02	1,0226Е-01	1,8550Е-07
34	РЖ ВОБ	18а		7,59	1	2,2180Е-03	1,6835Е-02	1,2777Е-01	1,8550Е-07
35	РЖ ВОБ	18а		9,19	1	2,2180Е-03	2,0383Е-02	1,8732Е-01	1,8550Е-07
36	РЖ ВОБ	18а		9,99	1	2,2180Е-03	2,2158Е-02	2,2136Е-01	1,8550Е-07
37	РЖ ВОБ	24б		10,79	1	4,3550Е-03	4,6990Е-02	5,0703Е-01	6,0100Е-07
38	РЖ ВОБ	24б		12,39	1	4,3550Е-03	5,3958Е-02	6,6855Е-01	6,0100Е-07
39	РЖ ВОБ	24б		13,19	1	4,3550Е-03	5,7442Е-02	7,5767Е-01	6,0100Е-07
40	РЖ ВОБ	24б		13,99	1	4,3550Е-03	6,0926Е-02	8,5236Е-01	6,0100Е-07
41	РЖ ВОБ	24б		14,79	1	4,3550Е-03	6,4410Е-02	9,5263Е-01	6,0100Е-07
42	РЖ ЗОБ	18а		2,79	1	2,2180Е-03	6,1882Е-03	1,7265Е-02	1,8550Е-07
43	РЖ ЗОБ	18а		3,59	1	2,2180Е-03	7,9626Е-03	2,8586Е-02	1,8550Е-07
44	РЖ ЗОБ	18а		4,39	1	2,2180Е-03	9,7370Е-03	4,2746Е-02	1,8550Е-07
45	РЖ ЗОБ	18а		5,99	1	2,2180Е-03	1,3286Е-02	7,9582Е-02	1,8550Е-07
46	РЖ ЗОБ	18а		6,79	1	2,2180Е-03	1,5060Е-02	1,0226Е-01	1,8550Е-07
47	РЖ ЗОБ	18а		7,59	1	2,2180Е-03	1,6835Е-02	1,2777Е-01	1,8550Е-07
48	РЖ ЗОБ	18а		9,19	1	2,2180Е-03	2,0383Е-02	1,8732Е-01	1,8550Е-07
49	РЖ ЗОБ	18а		9,99	1	2,2180Е-03	2,2158Е-02	2,2136Е-01	1,8550Е-07
50	РЖ ЗОБ	24б		10,79	1	4,3550Е-03	4,6990Е-02	5,0703Е-01	6,0100Е-07
51	РЖ ЗОБ	24б		12,39	1	4,3550Е-03	5,3958Е-02	6,6855Е-01	6,0100Е-07
52	РЖ ЗОБ	24б		13,19	1	4,3550Е-03	5,7442Е-02	7,5767Е-01	6,0100Е-07
53	РЖ ЗОБ	24б		13,99	1	4,3550Е-03	6,0926Е-02	8,5236Е-01	6,0100Е-07
54	РЖ ЗОБ	24б		14,79	1	4,3550Е-03	6,4410Е-02	9,5263Е-01	6,0100Е-07
55	РЖ ВП	24б		14,91	2	8,7100Е-03	1,2987Е-01	1,9363Е+00	4,9576Е-05
56	РЖ міжб. платф. 1	24б		5,08	2	8,7100Е-03	4,4247Е-02	2,2477Е-01	4,9576Е-05
57	РЖ міжб. платф. 2	24б		8,28	2	8,7100Е-03	7,2119Е-02	5,9714Е-01	4,9576Е-05
58	РЖ міжб. платф. 3	24б		11,48	2	8,7100Е-03	9,9991Е-02	1,1479Е+00	4,9576Е-05
59	РЖ комінгса	18а		15,62	1	2,2180Е-03	3,4645Е-02	5,4116Е-01	1,8550Е-07
60	РЖ комінгса	18а		16,22	1	2,2180Е-03	3,5976Е-02	5,8353Е-01	1,8550Е-07
61	стінка комінгса	14	1800	15,93	1	2,5200Е-02	4,0144Е-01	6,3949Е+00	6,8040Е-03
62	полка комінгса	20	400	16,83	1	8,0000Е-03	1,3464Е-01	2,2660Е+00	1,0667Е-04
						$\Sigma_1 = 2,4702$	$\Sigma_2 = 12,0021$	$\Sigma_3 = 129,1475$	

В табл. 2.23 представлено розрахунок основних геометричних характеристик поперечного перерізу еквівалентного бруса на основі табл. 2.22.

Таблиця 2.23 – Розрахунок геометричних характеристик поперечного перерізу еквівалентного бруса

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Площа, м ²	F	$F = 2 \cdot \Sigma_1$	4,9405
2	Відстань НО від ОП, м	e	$e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$	4,86
3	Момент інерції, м ⁴	I	$I = 2(\Sigma_3 - e^2 \cdot \Sigma_1)$	141,6659
4	Відстань від ОП до крайньої верхньої в'язі, м	$z_{\max}$	з табл. 2.22	15,03
5	Відстань від НО до НОД, м, за модулем	$ z_b $	$ z_b = e $	4,86
6	Відстань від НО до ВП, м, за модулем	$ z_d $	$ z_d = D - e $	10,18
7	Момент опору днища, м ³	W_b	$W_b = \frac{I}{ z_b }$	29,1572
8	Момент опору ВП, м ³	W_d	$W_d = \frac{I}{ z_d }$	13,9216
9	Мінімальний момент опору, м ³	W	$W = \min(W_b, W_d)$	13,9216

В табл. 2.24 представлено порівняння дійсних геометричних характеристик еквівалентного бруса з мінімальними, які взяті з пп. 9, 10, 11 табл. 2.10.

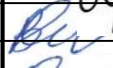
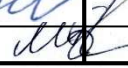
Таблиця 2.24 – Порівняння дійсних геометричних характеристик еквівалентного бруса з мінімальними

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Момент опору нормативний мінімальний 1-й, см ³	$W_{\min 1}$	п. 9 табл. 2.10	1,382E+07
2	Момент опору нормативний мінімальний 2-й, см ³	$W_{\min 2}$	п. 10 табл. 2.10	1,300E+07
3	Момент опору нормативний мінімальний, см ³	$W_{\min}$	$W = \max(W_{\min 1}, W_{\min 2})$	1,382E+07
4	Момент опору днища ЕБ, см ³	W_b	п. 7 табл. 2.23	2,916E+07
5	Момент опору ВП ЕБ, см ³	W_d	п. 8 табл. 2.23	1,392E+07
6	Виконання умови	—	$W_b > W_{\min}$	так
7	Виконання умови	—	$W_d > W_{\min}$	так
8	Момент інерції мінімальний, см ⁴	$I_{\min}$	п. 11 табл. 2.10	1,091E+10
9	Момент інерції ЕБ, см ⁴	I	п. 3 табл. 2.23	1,417E+14

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
10	Виконання умови	—	$I > I_{\min}$	так

Як видно з табл. 2.24 всі нормативні вимоги до значень геометричних характеристик ЕБ виконуються. Це означає, що загальна міцність корпусу судна забезпечена.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.02	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перевірка міцності і стійкості в'язей корпусу судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Кривонос А.М.						59	
Консульт.	Соков В.М.							
Керівник	Соков В.М.					НУК		
Зав. каф.	Бодров М.М.							

3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА

3.1 Перевірка пластини зовнішньої обшивки днища на міцність

Суднова пластина при розрахунку на міцність вважається жорсткою пластиною, яка навантажена рівномірно розподіленим навантаженням (тиском) по всьому полю пластини, прикладеним перпендикулярно до поля пластини. Всі кромки такої пластини є жорстко защемленими. При розрахунку міцності цієї пластини параметри деформування розраховуються в обраних точках (рис. 3.1).

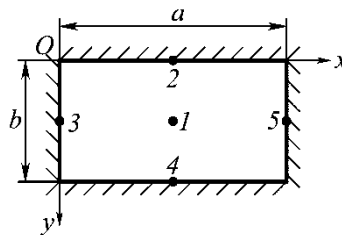


Рис. 3.1. Пластина жорстко защемлена на всіх кромках

Параметри згину жорстких ізотропних пластин при рівномірно розподіленому тиску q на поле пластини визначаються наступними залежностями

$$\left. \begin{aligned} w_1 &= v \frac{qb^4}{Eh^3}; \\ M_{x1} &= v_{11}qb^2; \quad M_{y1} = v_{21}qb^2; \\ M_{x3} &= v_{13}qb^2; \quad M_{y2} = v_{22}qb^2; \\ N_{x3} &= v_{33}qb; \quad N_{y2} = v_{42}qb, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де q – значення рівномірно розподіленого навантаження (тиску) на все поле пластини, Н/м²; v_{ij} – коефіцієнти, які можуть бути визначені з довідникової літератури; b – коротка сторона пластини, м; $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності при розтяганні; h – товщина пластини, м.

Напруження від силових факторів визначаються залежностями

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^{3z} &= \frac{12M_x \cdot z}{h^3}; \quad \sigma_y^{3z} = \frac{12M_y \cdot z}{h^3}; \\ \tau_{zx} &= \frac{6N_x}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right); \quad \tau_{zy} = \frac{6N_y}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Екстремальні значення напружень обчислюються наступним чином

$$\left. \begin{aligned} |\sigma_x|_{\max} &= \frac{6M_x}{h^2}; & |\sigma_y|_{\max} &= \frac{6M_y}{h^2}; \\ |\tau_{xz}|_{\max} &= \frac{3N_x}{2h}; & |\tau_{yz}|_{\max} &= \frac{3N_y}{2h}. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

1) Визначення внутрішніх силових факторів. Внутрішні силові фактори відповідно до формул (3.1) обчислюються в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок силових факторів пластини на рис. 3.1

№	Найменування величини	Позначення величини і/або формула	Значення
1	Коротка сторона, м	b	0,8
2	Довга сторона, м	a	1,6
3	Відношення сторін	$a : b$	2
4	Товщина пластини, м	h	0,016
5	Модуль Юнга, Па	E	2,00Е+11
6	Навантаження по полю пластини, Па	q	120279,6
7	Коефіцієнт для w_1	v з табл. 19.3 [5]	0,0276
8	Прогин (найбільший) в точці 1, м	$w_1 = v \frac{qb^4}{Eh^3}$	1,6599Е-03
9	Коефіцієнт для M_{x1}	v_{11} з табл. 19.3 [5]	0,0165
10	Згинальний (погонний) момент в точці 1, в напрямі осі x , Н	$M_{x1} = v_{11}qb^2$	1270,2
11	Коефіцієнт для M_{y1}	v_{21} з табл. 19.3 [5]	0,0407
12	Згинальний (погонний) момент в точці 1, в напрямі осі y , Н	$M_{y1} = v_{21}qb^2$	3133,0
13	Коефіцієнт для M_{x3}	v_{13} з табл. 19.3 [5]	0,0571
14	Згинальний (погонний) момент в точці 3, в напрямі осі x , Н	$M_{x3} = v_{13}qb^2$	4395,5
15	Коефіцієнт для M_{y2}	v_{22} з табл. 19.3 [5]	0,0829
16	Згинальний (погонний) момент в точці 2, в напрямі осі y , Н	$M_{y2} = v_{22}qb^2$	6381,6
17	Коефіцієнт для N_{x3}	v_{33} з табл. 19.3 [5]	0,481
18	Зрізуючі зусилля в точці 3, в площадках перпендикулярних осі x , Н/м	$N_{x3} = v_{33}qb$	46283,6
19	Коефіцієнт для N_{y2}	v_{42} з табл. 19.3 [5]	0,565
20	Зрізуючі зусилля в точці 2, в площадках перпендикулярних осі y , Н/м	$N_{y2} = v_{42}qb$	54366,4

2) Обчислення напружень. Напруження, що відповідають внутрішнім силовим факторам, які були визначені в табл. 3.1 обчислюються в табл. 3.2 і 3.3 відповідно до формул (3.3). В табл. 3.2 і 3.3 позначено: i – вісь; j – номер точки.

Таблиця 3.2 – Розрахунок нормальних напружень пластини на рис. 3.1

№	Згинальні моменти M_{ij}	Значення моментів з табл. 3.1, Н	Значення нормальних згинальних екстремальних напружень за формулою $\sigma_{ij} = \left \sigma_{ij}^{3\sigma} \right _{\max} = \frac{6M_{ij}}{h^2}$, Па
1	M_{x1}	1270,2	29,8
2	M_{y1}	3133,0	73,4
3	M_{x3}	4395,5	103,0
4	M_{y2}	6381,6	149,6

Таблиця 3.3 – Розрахунок дотичних напружень пластини на рис. 3.1

№	Зрізуючі сили N_{ij}	Значення зрізуючих сил з табл. 3.1, Н/м	Значення дотичних екстремальних напружень τ_{xz} , τ_{yz} , за формулою $\left \tau_{ij-z} \right _{\max} = \frac{3N_{ij}}{2h}$, Па
1	N_{x3}	46283,6	4,3
2	N_{y2}	54366,4	5,1

3) Перевірка міцності. Згідно формул (3.2) на гранях пластини діють найбільші нормальні згинальні напруження, а дотичні напруження там рівні нулю. На серединній площині все навпаки. Значення найбільших нормальних напружень за модулем є набагато більшими, аніж значення найбільших дотичних напружень. Тому при оцінці міцності пластини в окремих точках обчислюються тільки нормальні найбільші напруження на гранях.

Приведені або еквівалентні напруження в точці визначаються залежністю

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x^2}, \quad (3.4)$$

σ_x , σ_y – найбільші нормальні напруження, визначені на гранях пластини за формулами (3.3) і записані в табл. 3.2.

Умова міцності пластини в точці визначається залежністю

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{355}{1,4} = 253,6 \text{ МПа}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma] = 253,6 \text{ МПа}$ – допустимі напруження; $\sigma_s = 355 \text{ МПа}$ – границя плинності; $n_s = 1,4$ – коефіцієнт запасу за границею плинності.

В табл. 3.4 представлено перевірку міцності точок пластини на рис. 3.1, де напруження σ_x , σ_y для відповідних точок були взяті з табл. 3.2.

Таблиця 3.4 – Перевірка міцності пластини на рис. 3.1

Точка	Компоненти напружень, МПа		Приведені напруження σ_{eq} , МПа	Допустимі напруження $[\sigma]$, МПа	Виконання умови міцності $\sigma_{eq} \leq [\sigma]$
	σ_x	σ_y			
1	29,8	73,4	64,0	253,6	так
2	0	149,6	149,6	253,6	так
3	103,0	0	103,0	253,6	так

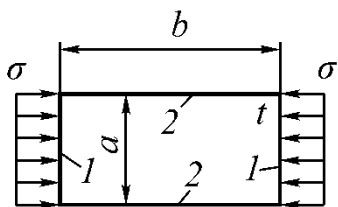
Висновок. Згідно даних табл. 3.4 міцність пластин зовнішньої обшивки днища забезпечена.

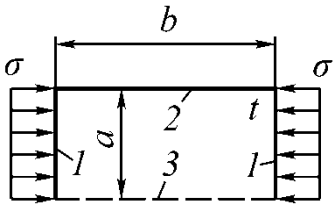
3.2 Перевірка пластин на стійкість

В цьому розділі ведеться перевірка стійкості обраних пластин набору, найбільш віддалених від НО. Вважаємо, що нормальні стискаючі напруження рівномірно розподілені вздовж короткої кромки (табл. 3.5), незважаючи на невелику зміну нормальних стискаючих напружень для вертикальних в'язей. Для перевірки стійкості діючі стискаючі напруження обчислюються для найбільш несприятливого випадку.

1) Визначення ейлеревих напружень. Ейлерові напруження визначаються згідно залежностей, які наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Залежності для ейлеревих напружень

№	Пояснення і схема	Формула
1	Поздовжня система набору 	$\sigma_e = 80 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$
2	Вільні фланці при поздовжній системі набору	$\sigma_e = 8,4 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$

№	Пояснення і схема	Формула
		

Пояснення для табл. 3.5 наступні: l – поперечні в’язі такі як флори, бімси, шпангоути; 2 – поздовжні в’язі, такі як поздовжні РЖ, днищеві стрингери, ВК, стінки балок тощо; t – товщина, м; a – коротка сторона, м; b – довга сторона, м; $\sigma = \sigma_c$ – стискуючі напруження від загального згину корпусу судна, МПа.

2) Визначення критичних напружень. Критичні напруження $\sigma_{кр}$, МПа, для пластин при поздовжній системі набору, а також для вільних фланців і скулового листа можуть бути розраховані за нижче приведеною залежністю

$$\left. \begin{aligned} \text{если } \frac{\sigma_y}{\sigma_s} < 0,6 \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_y \\ \text{если } 0,6 \leq \frac{\sigma_y}{\sigma_s} \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_s \left(1,63 - \frac{0,8}{\sqrt{\sigma_y/\sigma_s}} \right) \\ \text{если } \sigma_{кр} \geq \sigma_s \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_s \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

де $\sigma_s = 355$ МПа – границя плинності.

Так як були визначені реальні геометричні характеристики еквівалентного бруса, то необхідно знову розраховувати нові стискуючі напруження.

В табл. 3.6 представлено залежності для перевірки стійкості пластин набору згідно схем табл. 3.5.

Таблиця 3.6 – Залежності для перевірки стійкості пластин набору згідно схем табл. 3.5

№	Найменування величини	Позначення величини і/або формула	Значення
1	Сумарний згинальний момент при перегині , кН·м	$M_{\Sigma h}$	3188440
2	Сумарний згинальний момент при прогині , кН·м	$M_{\Sigma s}$	-3358895

№	Найменування величини	Позначення величини і/або формула	Значення
3	Відстань розрахункової точки від нейтральної осі (НО) зі своїм знаком, м. Примітка: вісь z – вниз	z_i	–
4	Стан: перегин/прогин	–	–
5	Сумарний згинальний момент, кН·м	$M_{\Sigma} = M_{wh},$ $M_{\Sigma} = M_{ws}$	в залежності від стану: перегин чи прогин
6	Коротка сторона пластини, м	a	–
7	Довга сторона пластини, м	b	–
8	Товщина пластини, м	t	–
9	Ейлерові напруження для схеми №1 табл. 3.5, МПа	$\sigma_e = 80 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$	–
10	Ейлерові напруження для схеми №2 табл. 3.5, МПа	$\sigma_e = 8,4 \left(\frac{100t}{a} \right)^2$	–
11	Границя плинності, МПа	σ_s	355
12	Критичні напруження, МПа, пластин при поздовжній системі набору, а також для вільних фланців і скульового листа	$\sigma_{кр} = \begin{cases} \sigma_e, \text{ якщо } \frac{\sigma_e}{\sigma_s} < 0,6; \\ \sigma_s \left(1,63 - \frac{0,8}{\sqrt{\sigma_e/\sigma_s}} \right), \\ \text{якщо } \frac{\sigma_e}{\sigma_s} \geq 0,6. \end{cases}$ $\sigma_{кр} = \sigma_s, \text{ якщо } \sigma_{кр} \geq \sigma_s$	–
13	Момент інерції ЕБ, м ⁴	I	141,6659
14	Стискуючі напруження, МПа	$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma}}{I} z_i \cdot 10^3$	–
15	Виконання умови стійкості	$\sigma_c < \sigma_{кр}$	–

В табл. 3.7 представлено перевірку стійкості обраних пластин набору згідно схем табл. 3.5.

Таблиця 3.7 – Перевірка стійкості пластин набору

№	Розрахункова точка	Тип схеми за табл. 3.5	z_i , м	Стан: перегин або прогин	M_z , кН·м	Коротка сторона a , м	Довга сторона b , м	Товщина пластини t , м	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження $\sigma_{кр}$, МПа	Стискуючі напруження σ_c , МПа	Виконання умови стійкості $\sigma_c \leq \sigma_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Верхній пояс стінки комінгса	1	-11,97	прогин	-3358895	0,6	1,6	0,014	186,7	186,7	283,8	ні
2	Вільний фланець комінгса	2	-11,97	прогин	-3358895	0,4	1,6	0,02	42,0	42,0	283,8	ні
3	Настил ВП	1	-10,17	прогин	-3358895	0,8	1,6	0,03	300,0	269,7	241,2	так
4	НОД	1	4,86	перегин	3188440	0,8	1,6	0,016	160,0	160,0	109,4	так

Як видно з табл. 3.7 деякі найвіддаленіші від НО пластини палубної або верхньої частини судна відносно НО втрачають стійкість, не дивлячись на те, що вони виконані за поздовжньою системою набору. В цьому випадку еквівалентний брус необхідно розраховувати в декількох наближеннях, з врахуванням втрати стійкості гнучкими в'язями. Іншим шляхом подолання проблеми втрати стійкості листами є використання сталі підвищеної міцності для верхніх поясів листів, щоб підвищити значення критичних напружень, або збільшення товщини пластин.

ВИСНОВОК

На прикладі розробки початкового проекту балкеру було продемонстровано вміння використовувати набуті знання під час вивчення дисциплін корабельного циклу, таких як основи проектування суден, теорія корабля, конструкція корпусу корабля, будівельна механіка корабля. Виконання цієї роботи дозволило закріпити основні навички пов'язані з проектуванням судна, отриманням елементів кривих теоретичного креслення, набору корпусу судна за Правилами Регістру та перевірки міцності і стійкості елементів корпусу судна.

					КР.135.4111.Б1.ПЗ.03	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи проектування суден". – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
- 2 Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден: Методичні вказівки / В.Г.Матвєєв, А.І.Кузнєцов, Б.М.Мартинець, Б.М.Михайлов, О.М.Узлов, М.О.Цибенко, Г.В.Шарун. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с.
- 3 Суслов В. П., Кочанов Ю. П., Спихтаренко В. Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости. Л.: Судостроение, 1972. 720 с.
- 4 Справочник по строительной механике корабля./Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. – В трех томах. Том 1. Общие понятия. Стержни. Стержневые системы и перекрытия. – Л.: Судостроение, 1982. – 376 с., ил.
- 5 Справочник по строительной механике корабля./Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. – В трех томах. Том 2. Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. – Л.: Судостроение, 1982. – 464 с. ил.