

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,
д-р техн. наук, професор
 Коростильов Л.І.
«20» червня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: **Проект суховантажного судна вантажопідйомністю
6750 тонн**

Виконав студент групи 2117ст


Галаган С.В.

Керівник роботи
Старший викладач, канд.техн.наук


Соков В.М.

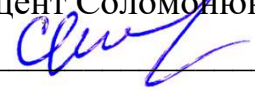
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

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, доцент Соломонюк Н.С.



(підпис)

«20» травня 2024 року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту групи 2117ст

Галагану Сергію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6750 тонн» ,

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

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

Затверджені наказом № 409-уч. ВНЗ від «20» травня 2024 року,

2. Строк подання студентом роботи: «20» червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1	Вантажопідйомність (вантажомісткість)	6750 тонн
3.2	Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура)	1,25 м ³ /т
3.3	Швидкість експлуатаційна	12,0 вузл.
3.4	Клас судна за Правилами класифікаційного товариства	—
3.5	Дальність та район плавання	6500 миль, необмежений
3.6	Додаткові вимоги	—

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 презентаційних матеріалів:

- 5.1. Теоретичне креслення.
 5.2. Гідростатичні криві: діаграма статичної 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 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	15.03.2024р.	виконано
2	Побудова теоретичного креслення	24.03.2024р.	виконано
3	Побудова гідростатичних кривих	29.03.2024р.	виконано
4	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства та перевірка його вимог. Конструктивний мідель-шпангоут.	21.04.2024р.	виконано
5	Перевірка міцності і стійкості пластин	04.06.2024р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки.	15.06.2024р.	виконано

Студент

(підпис)

Галаган С.В.

Керівник роботи

(підпис)

Соков В.М.

АНОТАЦІЯ

Галаган С.В. «Проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6750 тонн». Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньої програми «Міжнародна технічна інформація у морській діяльності». Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова. 2024. 63 с.

В кваліфікаційній роботі бакалавра представлено проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6750 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: суховантаж, проектування, морехідні якості, міцність, стійкість.

ANNOTATION

Halahan Serhii. “The project of dry cargo carrier with cargo capacity 6750 tons”. Bachelor’s qualification work in the specialty 135 “Shipbuilding” of the educational program “International technical information in maritime activities”. Mykolaiv: NUOS . 2024. 63 p.

In the qualifying work of bachelor there is presented the project of the dry cargo ship with cargo capacity 6750 tons. The work consists of the 3 sections, which describe the general stages of ship design. In the 1-st section there is takes place the definition of the principal dimensions of the ship-project from the ship-prototype by the method of sequential approaches by the way of solution of the mass equations. Also in this section the hydrostatic curves were obtained. In the 2-nd section there is takes place the calculation of the elements of the ship hull after the Rules of the Classification Society of Ukraine. In the 3-rd section there is takes place the verification of the chosen plates and beams of hull arrangements from the conditions of the strength and stability.

Keywords: dry cargo carrier, design, seaworthiness, strength, stability.

					КР.135.2117ст.03.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

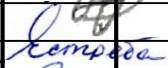
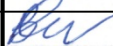
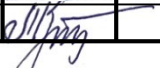
ЗМІСТ

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	17
1.4 Побудова теоретичного креслення та гідростатичних кривих	21
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ	23
2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна	23
2.2 Розрахункові навантаження	25
2.3 Загальна поздовжня міцність судна	31
2.4 Визначення товщин листів	32
2.5 Проектування ребер жорсткості набору	40
2.6 Перевірка загальної поздовжньої міцності	45
3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА	52
3.1 Перевірка пластини зовнішньої обшивки днища на міцність	52
3.2 Перевірка пластин на стійкість	55
3.3 Перевірка балок набору на міцність та стійкість	58
ВИСНОВОК	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6750 тонн розроблявся із залученням судна-прототипу вказаного далі в роботі. Проект складається з трьох частин. У 1-й частині визначення головних розмірів судна-проекту планується визначати у 2-х наближеннях. Для 1-го наближення розв'язується рівняння мас у функції водотоннажності, а у 2-му – у функції головних розмірів. Визначення лінійних розмірів відбувається з рівняння плавучості. Було розроблено теоретичне креслення, на базі якого отримані гідростатичні криві. У 2-му 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.135.2117ст.03.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.135.2117ст.03.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення головних розмірів судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Галаган С.В.						6	
Консульт.	Ястреба О.П.							
Керівник	Соков В.М.					НУК		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

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 дані судна-прототипу, які використовуються для проектування судна-проекту.

Таблиця 1.1 – Дані судна-прототипу

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Довжина найбільша, м	$\bar{L}_{\max}$	114,63
2	Довжина між перпендикулярами, м	$\bar{L}_{\perp\perp} = \bar{L}$	102,45
3	Ширина судна, м	$\bar{B}$	15
4	Висота борта, м	$\bar{H}$	8,3
5	Осадка судна, м	$\bar{T}$	6,19
6	Коефіцієнт загальної повноти	$\bar{\delta}$	0,851
7	Коефіцієнт повноти ватерлінії	$\bar{\alpha}$	0,888
8	Коефіцієнт повноти за шпангоутом	$\bar{\beta}$	0,97
9	Експлуатаційна швидкість, вузли	$\bar{v}_e$	13,3

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
10	Швидкість на випробуваннях, вузли	$\bar{v}_в$	13,5
11	Потужність СЕУ експлуатаційна, кВт	$\bar{N}_е$	2220
12	Потужність СЕУ на випробуваннях, кВт	$\bar{N}_в$	2640
13	Дальність плавання, миль	$\bar{Z}$	6000
14	Коефіцієнт утилізації	η	0,483
15	Кількість гвинтів	—	1
16	Кількість екіпажу, чоловік	—	14
17	Металевий корпус (мк)		
	Маса, т	$\bar{P}_{мк}$	1554
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{мк}$	5,12
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{мк}$	4,98
18	Обладнання (об)		
	Маса, т	$\bar{P}_{об}$	444
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{об}$	9,32
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{об}$	8,47
19	Енергетична установка (еу)		
	Маса, т	$\bar{P}_{еу}$	358
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{еу}$	-34,83
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{еу}$	4,57
20	Паливо (пал)		
	Маса, т	$\bar{P}_{пал}$	317
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{пал}$	-7,48
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{пал}$	4,98
21	Запас водотоннажності (зв)		
	Маса, т	$\bar{P}_{зв}$	350
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{зв}$	-0.1
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{зв}$	0
22	Постачання (пос)		
	Маса, т	$\bar{P}_{пос}$	105
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_{пос}$	-39,96
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_{пос}$	6,47
23	Баласт (б)		
	Маса, т	$\bar{P}_б$	680
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_б$	9,22
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_б$	1,41
24	Вантаж (в)		
	Маса, т	$\bar{P}_в$	4350
	Абсциса ЦТ, м	$\bar{x}_в$	3,07
	Апліката ЦТ, м	$\bar{z}_в$	8,3

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
25	Водотоннажність, т	$\bar{D}$	8158
26	Довжина машинного відділення, м	$\bar{L}_{\text{мв}}$	20,6
27	Довжина форпіка, м	$\bar{L}_{\text{фор}}$	10
28	Довжина ахтерпіка, м	$\bar{L}_{\text{ахт}}$	8,66
29	Поздовжній метacentричний радіус, м	$\bar{R}$	139,24
30	Відношення $\bar{B} / \bar{T}$	—	2,423
31	Відношення $\bar{L} / \bar{B}$	—	6,830
32	Відношення $\bar{H} / \bar{T}$	—	1,341

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

Таблиця 1.2 – Дані по судну-проекту

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Вантажомісткість, т	$P_{\text{в}}$	6750
2	Експлуатаційна швидкість, вузли	$v_{\text{е}}$	12,0
3	Швидкість на випробуваннях, вузли	$v_{\text{в}}$	12,2
4	Дальність плавання, миль	Z	6500
5	Район плавання	—	необмежений
6	Льодова категорія	—	—
7	Тип ЕУ	—	ДВЗ
8	Питома навантажувальна кубатура для зерна пшениці, м ³ /т	μ	1,25

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	$a_{\text{мк}}$	$a_{\text{мк}} = \frac{\bar{P}_{\text{мк}}}{\bar{D}}$	0,1905
2	Вимірник маси обладнання	$a_{\text{об}}$	$a_{\text{об}} = \frac{\bar{P}_{\text{об}}}{\frac{2}{\bar{D}^3}}$	1,0956
3	Вимірник маси енергетичної установки, т/кВт	$a_{\text{еу}}$	$a_{\text{еу}} = \frac{\bar{P}_{\text{еу}}}{\bar{N}_{\text{в}}}$	0,1356
4	Вимірник маси палива, т/(кВт·год)	$a_{\text{пал}}$	$a_{\text{пал}} = \frac{\bar{P}_{\text{пал}} \cdot \bar{v}_{\text{е}}}{\bar{N}_{\text{е}} \cdot \bar{Z}}$	3,1652E-04
5	Вимірник маси запасу водотоннажності	$a_{\text{зв}}$	$a_{\text{зв}} = \frac{\bar{P}_{\text{зв}}}{\bar{D}} \geq 0,01$	4,2903E-02

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
6	Вимірник маси запасу постачання	$a_{\text{пос}}$	$a_{\text{пос}} = \frac{\bar{P}_{\text{пос}}}{D}$	1,2871E-02
7	Адміралтейський коефіцієнт при експлуатації	C_{ϵ}	$C_{\epsilon} = \frac{\bar{D}^{\frac{2}{3}} \cdot \bar{v}_{\epsilon}^{-3}}{\bar{N}_{\epsilon}}$	429,5
8	Адміралтейський коефіцієнт на випробуваннях	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{в}} = \frac{\bar{D}^{\frac{2}{3}} \cdot \bar{v}_{\text{в}}^{-3}}{\bar{N}_{\text{в}}}$	377,7
9	Коефіцієнт утилізації водотоннажності по чистій вантажопідйомності:	$\bar{\eta}_0$	$\bar{\eta}_0 = \frac{\bar{P}_{\text{в}}}{D}$	0,5332
10	Уточнене значення $\bar{\eta}_0$ в зв'язку з різницею проекту та прототипу за $\bar{v}_{\epsilon}$, $\bar{v}_{\text{в}}$ та Z	$\eta_0^{\text{ут}}$	$\eta_0^{\text{ут}} = \bar{\eta}_0 - \left(a_{\text{еу}} \left(\frac{\bar{v}_{\text{в}}}{\bar{v}_{\epsilon}} \right)^3 + a_{\text{пал}} \cdot \left(\frac{\bar{v}_{\epsilon}}{\bar{v}_{\text{в}}} \right)^2 \cdot \frac{Z}{Z} \right) + a_{\text{еу}} + a_{\text{пал}}$	0,5688
11	Ще раз уточнене $\eta_0^{\text{ут}}$ у зв'язку з існуванням масштабного ефекту	η_0	$\eta_0 = \eta_0^{\text{ут}} \cdot \sqrt[4]{\frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{б}}}}$	0,6348
12	Очікувана водотоннажність	$D_{\text{оч}}$	$D_{\text{оч}} = \frac{P_{\text{в}}}{\eta_0}$	10633,0
13	Коефіцієнт в рівнянні мас	n	$n = 1 - a_{\text{мк}} - a_{\text{зв}} - a_{\text{пос}}$	0,7537
14	Коефіцієнт в рівнянні мас	m	$m = a_{\text{об}} + a_{\text{еу}} \cdot \frac{\bar{v}_{\text{в}}^3}{C_{\text{в}}} + a_{\text{пал}} \cdot \frac{\bar{v}_{\epsilon}^2}{C_{\epsilon}} \cdot Z$	2,4375

Масова водотоннажність D , т, судна-проекту визначається залежністю

$$D = P_{\text{мк}} + P_{\text{об}} + P_{\text{еу}} + P_{\text{пал}} + P_{\text{зв}} + P_{\text{пос}} + P_{\text{б}} + P_{\text{в}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{мк}}$, $P_{\text{об}}$, $P_{\text{еу}}$, $P_{\text{пал}}$, $P_{\text{зв}}$, $P_{\text{пос}}$, $P_{\text{б}}$, $P_{\text{в}}$ – маси розділів відповідно: металевого корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, запасу водотоннажності, постачання, баласту, вантажу.

Всі складові (1) залежать від водотоннажності D , окрім $P_{\text{б}}$, $P_{\text{в}}$. 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 $P_{\text{б}}$ приймаємо $P_{\text{б}} = 0$.

					КР.135.2117ст.03.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

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

$$D = a_{\text{МК}} \cdot D + a_{\text{об}} \cdot D^{\frac{2}{3}} + a_{\text{еу}} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{в}}^3}{C_{\text{в}}} + a_{\text{пал}} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_{\text{е}}^2}{C_{\text{е}}} \cdot Z + a_{\text{зв}} \cdot D + a_{\text{пос}} \cdot D + P_{\text{б}} + P_{\text{в}}. \quad (3)$$

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

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

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 12 табл. 1.3) в якості початкового наближення, знайдемо водотоннажність судна-проекту у 1-му наближенні, яка становить

$$D_1 = D = 10506,7 \text{ т} \quad (5)$$

Різниця ε_1 між водотоннажністю у 1-му наближенні $D_1 = D$ (5) і очікуваною водотоннажністю $D_{\text{оч}}$, отриманою в пункті 12 табл. 1.3 становить

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{D_1 - D_{\text{оч}}}{D_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10506,7 - 10633}{10506,7} \right| \cdot 100\% = 1,2\%. \quad (6)$$

В 1-му наближенні приймаємо водотоннажність $D = D_1 = 10506,7 \text{ т}$, 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	$P_{\text{МК}}$	$P_{\text{МК}} = a_{\text{МК}} \cdot D$	2001,4

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
2	Маса обладнання, т	$P_{об}$	$P_{об} = a_{об} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	525,6
3	Маса енергетичної установки, т	$P_{еу}$	$P_{еу} = a_{еу} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_b^3}{C_b}$	312,8
4	Маса палива, т	$P_{пал}$	$P_{пал} = a_{пал} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^2}{C_e} \cdot Z$	330,9
5	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{зв}$	$P_{зв} = a_{зв} \cdot D$	450,8
6	Маса постачання, т	$P_{пос}$	$P_{пос} = a_{пос} \cdot D$	135,2
7	Маса баласту, т	$P_б$	—	0,0
8	Маса вантажу, т	$P_в$	(п. 1, табл. 1.2)	6750,0
9	Сумарна маса, т	Σ_P	$\Sigma_P = P_{мк} + P_{об} + P_{еу} + P_{пал} + P_{зв} + P_{пос} + P_б + P_в,$	10506,7

Як видно з табл. 1.4 сумарна маса $\Sigma_P = 10506,7$ т відрізняється на 0% від водотоннажності $D = D_1 = 10506,7$ 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	$\rho_в$	—	1,025
3	Відносна довжина проекту	l	$l = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{D}} \right) \cdot \sqrt[3]{v_e}$	5,102

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
4	Відносна довжина прототипу	$\bar{l}$	$\bar{l} = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\bar{D} \rho_B}}$	5,131
5	Прийнята відносна довжина	l	у судна з більшою швидкістю l є більшим; $\bar{v}_e = 13,3 \text{ вуз} > v_e = 12,0$	5,102
6	Довжина проекту між $\perp\perp$, м	L	$L = l \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{\rho_B}}$	110,82
7	Число Фруда проекту	Fr	$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{g L}}$	0,1871
8	Число Фруда прототипу	$\overline{Fr}$	$\overline{Fr} = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g \bar{L}}}$	0,2156
9	Коефіцієнт загальної повноти	δ	$\delta = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \cdot \exp(-24 \cdot Fr)}$	0,774
10	Коефіцієнт поздовжньої остроти	φ	$\varphi = 1 - \frac{0,41}{1 + 100 \cdot \exp(-25 \cdot Fr)}$	0,788
11	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	$\beta = \frac{\delta}{\varphi}$	0,982
12	Допоміжний коефіцієнт для визначення коефіцієнту повноти ВВЛ	a	$a = 1,01$ при $Fr < 0,25$	1,01
13	Коефіцієнт повноти ВВЛ	α	$\alpha = a \cdot \varphi^{2/3}$	0,861

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	0,1871	0,2156	0,1871
2	δ	0,774	0,851	0,851
3	β	0,982	0,970	0,982

№ п/п	Величина	Проект	Прототип	Прийнято
4	α	0,861	0,888	0,888

Коефіцієнт зв'язку коефіцієнтів становить

$$KЗК = \frac{\alpha \cdot \beta}{\delta} = \frac{0,888 \cdot 0,983}{0,851} = 1,025, \quad (7)$$

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

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	$C = \frac{B}{T} = \frac{\bar{B}}{\bar{T}}$, п. 30 табл. 1.1	2,423
	Коефіцієнт виступаючих частин	$K_{вч}$	–	1,02
2	Відношення довжини L до ширини B проекту	A	$A = \frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \cdot \delta \cdot \frac{1}{C} K_{вч} \cdot \rho_B}$	6,982
3	Відношення довжини L до ширини B прототипу	$\bar{A}$	$\bar{A} = \frac{\bar{L}}{\bar{B}}$, п. 31 табл. 1.1	6,830
4	Прийняте відношення $A = L/B$	A	у судна з більшою швидкістю L/B є більшим; $\bar{v}_e = 13,3$ вуз $> v_e = 12,0$ вуз	6,830
5	Довжина судна з умов плавучості, м	L	$L = \sqrt[3]{\frac{D \cdot A^2 \cdot C}{\delta \cdot \rho_B \cdot K_{вч}}}$	110,11
6	Ширина судна, м	B	$B = \frac{L}{A}$	16,12
7	Осадка судна, м	T	$T = \frac{B}{C}$	6,65
8	Відношення висоти борту H до осадки T (приймаємо за прототипом)	J	$J = \frac{H}{T} = \frac{\bar{H}}{\bar{T}}$, п. 32 табл. 1.1	1,341
9	Висота борту, м	H	$H = J \cdot T$	8,92
10	Уточнена довжина судна, м	L	$L = \frac{D}{\delta \cdot \rho_B \cdot K_{вч} \cdot B \cdot T}$	110,11
11	Рівняння плавучості (для перевірки), т	D^*	$D^* = \rho_B \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot L \cdot B \cdot T$	10506,7
12	Водотоннажність у 1-му	$D = D_1$	вираз (5)	10506,7

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
	наближенні			
13	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	$D = D_1$	10506,7
2	Довжина між $\perp\perp$, м	L	110,11
3	Ширина, м	B	16,12
4	Осадка, м	T	6,65
5	Висота борту, м	H	8,92
6	Число Фруда	Fr	0,1871
7	Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,851
8	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	0,982
9	Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	α	0,888

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

$$\left. \begin{aligned} N_{e\text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^3}{C_e} = \frac{10506,7^{\frac{2}{3}} \cdot 12^3}{429,5} = 1930,2 \text{ кВт}; \\ N_{в\text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_b^3}{C_b} = \frac{10506,7^{\frac{2}{3}} \cdot 12,2^3}{377,7} = 2306,4 \text{ кВт}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

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	—	“Man B&W” 5S26MC

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
2	Потужність двигуна експлуатаційна, кВт	$N_{ед}$	2000
3	Потужність двигуна на випробуваннях, кВт	$N_{вд}$	—
4	Питома витрата палива, т/(кВт·год)	$q_{пал}$	$179 \cdot 10^{-6}$

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 наближення з табл. 1.8. Маса розділів 1-го наближення взяті з табл. 1.4. У вказаному рівнянні мас показники потужностей та маса судового 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	1,341
2	Коефіцієнт повноти об'єму судна по ВП	$\delta_{п}$	$\delta_{п} = \delta \cdot \frac{T}{H} + 1.05 \cdot \alpha \cdot \left(1 - \frac{T}{H}\right)$	0,8717
3	Вимірник маси металевго корпусу	$q_{мк}$	$q_{мк} = \frac{P_{мк}}{\delta_{п} LBH}$	0,1450
4	Вимірник маси обладнання	$q_{об}$	$q_{об} = \frac{P_{об}}{(LBH)^{\frac{2}{3}}}$	0,8335
5	Вимірник маси енергетичної установки, т/кВт	$q_{еу}$	$q_{еу} = \frac{P_{еу}}{N_{в оч}}$	0,1356
6	Вимірник маси палива, т/(кВт·год)	$q_{пал}$	—	1,7900E-04
7	Вимірник маси запасу водотоннажності	$q_{зв}$	$q_{зв} = \frac{P_{зв}}{D}$	0,0429
8	Вимірник маси запасу постачання	$q_{пос}$	$q_{пос} = \frac{P_{пос}}{D^{\frac{2}{3}}}$	0,2819
9	Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	—	1,2
10	Коефіцієнт, який враховує витрати палива на роботу допоміжних двигунів	$k_{д}$	—	1,15

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
11	Адміралтейський коефіцієнт при експлуатації	C_e	$C_e = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^3}{N_{ед}}$	414,5
12	Адміралтейський коефіцієнт на випробуваннях	C_B	$C_B = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_B^3}{N_{B оч}}$	377,7
13	Коефіцієнт в рівнянні мас	n	$n = 1 - q_{зв} - 0,966 q_{мк} \frac{\delta_n \cdot H}{\delta \cdot T}$	0,7647
14	Коефіцієнт в рівнянні мас	m	$m = q_{об} \left(\frac{H}{T} \cdot \frac{1}{\rho_B \cdot \delta} \right)^{\frac{2}{3}} + q_{пос} + q_{ey} \cdot \frac{v_B^3}{C_B}$	2,0441
15	Маса палива у 2-му наближенні, т	$P_{пал2}$	$P_{пал2} = q_{пал} N_{ед} \cdot \frac{Z}{v_e} k_{мз} \cdot k_d$	267,6

Рівняння мас у функції головних розмірів має вигляд

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

де $P_{пал2}$ береться з табл. 1.10.

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

$$D_2 = D = 10454,8 \text{ т} \quad (10)$$

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

$$\varepsilon_2 = \left| \frac{D_1 - D_2}{D_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10506,7 - 10454,8}{10506,7} \right| \cdot 100\% = 0,49\%. \quad (11)$$

В 2-му наближенні приймаємо водотоннажність $D = D_2 = 10454,8 \text{ т}$, 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	$P_{\text{МК}}$	$P_{\text{МК}} = 0,966 q_{\text{МК}} \frac{\delta_n}{\delta} \cdot \frac{H}{T} \cdot D$	2011,3
2	Маса обладнання, т	$P_{\text{об}}$	$P_{\text{об}} = q_{\text{об}} \left(\frac{H}{T} \cdot \frac{1}{\rho_B \cdot \delta} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	530,8
3	Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{еу}}$	$P_{\text{еу}} = q_{\text{еу}} \cdot \frac{v_B^3}{C_B} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	311,7
4	Маса палива, т	$P_{\text{пал}}$	п. 15 табл. 1.10	267,6
5	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{\text{зв}}$	$P_{\text{зв}} = q_{\text{зв}} \cdot D$	448,5
6	Маса постачання, т	$P_{\text{пос}}$	$P_{\text{пос}} = q_{\text{пос}} \cdot D^{\frac{2}{3}}$	134,8
7	Маса баласту, т	$P_{\text{б}}$	–	0
8	Маса вантажу, т	$P_{\text{в}}$	(п. 1, 19 табл. 1.2)	6750
9	Сумарна маса, т	Σ_P	$\Sigma_P = P_{\text{МК}} + P_{\text{об}} + P_{\text{еу}} + P_{\text{пал}} + P_{\text{зв}} + P_{\text{пос}} + P_{\text{б}} + P_{\text{в}}$	10454,8

Як видно з табл. 1.11 сумарна маса $\Sigma_P = 10454,8$ т відрізняється на 0% від водотоннажності $D = D_2 = 10454,8$ 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 прототипом)	C	$C = \frac{B}{T} = \frac{B_1}{T_1}$	2,423
	Коефіцієнт виступаючих частин	$K_{\text{вч}}$	–	1,02
2	Відношення довжини L до ширини B проекту у 2-му наближенні	A	$A = \frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \cdot \delta \cdot \frac{1}{C} K_{\text{вч}} \cdot \rho_B}$	6,982
3	Відношення довжини L до ширини B у 1-му наближенні	A_1	$A = \frac{L}{B} = \frac{L_1}{B_1}$	6,83
4	Прийняте відношення $A=L/B$	A	у судна з більшою швидкістю L/B	6,83

№ п/п	Назва величини	Позначення	Формула	Значення
			є більшим; $\bar{v}_e = 13,3 \text{ вуз} > v_e = 12,0 \text{ вуз}$	
5	Довжина судна з умов плавучості, м	L	$L = \sqrt[3]{\frac{D \cdot A^2 \cdot C}{\delta \cdot \rho_B \cdot K_{вч}}}$	109,93
6	Ширина судна, м	B	$B = \frac{L}{A}$	16,09
7	Осадка судна, м	T	$T = \frac{B}{C}$	6,64
8	Відношення висоти борту H до осадки T (приймаємо за 1-м наближенням)	J	$J = \frac{H}{T} = \frac{H_1}{T_1}$	1,341
9	Висота борту, м	H	$H = J \cdot T$	8,906
10	Уточнена довжина судна, м	L	$L = \frac{D}{\delta \cdot \rho_B \cdot K_{вч} \cdot B \cdot T}$	109,926
11	Рівняння плавучості (для перевірки), т	D^*	$D^* = \rho_B \cdot \delta \cdot K_{вч} \cdot L \cdot B \cdot T$	10454,8
12	Водотоннажність у 2-му наближенні	$D=D_2$	вираз (10)	10454,8
13	Різниця між D і D^*	ε_D	$\varepsilon_D = \left \frac{D - D^*}{D} \right \cdot 100\%$	0,0

З метою покращення гідродинамічних якостей судна та зменшення опору руху води, довжину судна L із п. 10 табл. 1.12 визначаємо при коефіцієнті загальної повноти $\delta = 0,774$ (табл. 1.5, п. 9). Таким чином

$$L = \frac{D}{\delta \cdot \rho_B \cdot K_{вч} \cdot B \cdot T} = \frac{10454,8}{0,774 \cdot 1,025 \cdot 1,02 \cdot 16,09 \cdot 6,64} = 120,93 \text{ м.} \quad (12)$$

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	10455	8158
2	Довжина між $\perp \perp$, м	L	120,93	102,45
3	Ширина, м	B	16,09	15,00
4	Осадка, м	T	6,64	6,19
5	Висота борту, м	H	8,91	8,30
6	Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,774	0,851
7	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	β	0,982	0,970
8	Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	α	0,888	0,888
9	Експлуатаційна швидкість, вузли	v_e	12	13,3

10	Швидкість на випробуваннях, вузли	v_B	12,2	13,5
11	Дальність плавання, миль	Z	6500	6000
12	Маса металевого корпусу, т	P_{MK}	2011	1554
13	Маса обладнання, т	$P_{об}$	531	444
14	Маса енергетичної установки, т	P_{ey}	312	358
15	Маса палива, т	$P_{пал}$	268	317
16	Маса запасу водотоннажності, т	$P_{зв}$	449	350
17	Маса постачання, т	$P_{пос}$	135	105
18	Маса баласту, т	$P_б$	0	680
19	Маса вантажу, т	P_B	6750	4350

В розділі 2 параметри навантаження розраховані для довжини судна $L = 109,93$ м.

1.4 Побудова теоретичного креслення та гідростатичних кривих

Методами теорії корабля були отримані координати теоретичного креслення та гідростатичні криві, такі як масштаб Бонжана та діаграма статичної остійності.

					КР.135.2117ст.03.ПЗ.02			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок елементів корпусу судна за Правилами класифікаційного товариства України	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Галаган С.В.						21	
Консульт.	Шарун Г.В.							
Керівник	Соков В.М.					НУК		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ

2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проектоване судно є суховантажним з кормовим розташуванням машинного відділення та житлової надбудови, з коротким баком, нахиленим надводним форштевнем 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 4 шпациї 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	109,93
2	Ширина, м	B	16,09
3	Висота борту, м	D	8,91
4	Осадка, м	d	6,64
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,851
6	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	C_m	0,982
7	Коефіцієнт повноти площі ВВЛ	C_W	0,888
8	Швидкість ходу експлуатаційна або специфікаційна, вузли	v_0	12
9	Відношення L/D	L/D	12,3
10	Відношення B/D	B/D	1,8

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. Для виготовлення суднового корпусу використано суднобудівну сталь з границею плинності $R_{eH}=235$ МПа, тому що довжина судна менша 130 м, а температура

експлуатації вища за -20°C . Основні механічні характеристики прийнятої сталі представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.2 – Основні механічні характеристики прийнятої сталі

№	Найменування величини	Позначення	Значення
1	Марка сталі	—	ВСт3сп
2	Границя плинності, МПа	R_{eH}	235
3	Коефіцієнт використання механічних властивостей	η	1
4	Нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа	$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$	235
5	Нормативна границя плинності за дотичними напруженнями, МПа	$\tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n$	134

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	$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48$	0,70
2	Прийнята шпация, м	a_0		0,70
3	Підйом t лінії днища, м	t	$t = d \cdot (1 - C_m)$	0,12
4	Прийняте t , м	t		0,12
5	Розрахункова висота подвійного дна, м	h_2	$h_2 = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B +$ $+ 3,5 \cdot \frac{d}{L} \geq 0,65$	0,98
6	Прийнята висота подвійного дна, м	h_2	—	1,00
7	Радіус заокруглення скули, м	R	$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}}$	1,50
8	Прийняте R , м	R	—	1,00
9	Ширина горизонтального кіля, мм	b_k	$b_k = 800 + 5L \leq 2000$	1350
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 пазами 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.

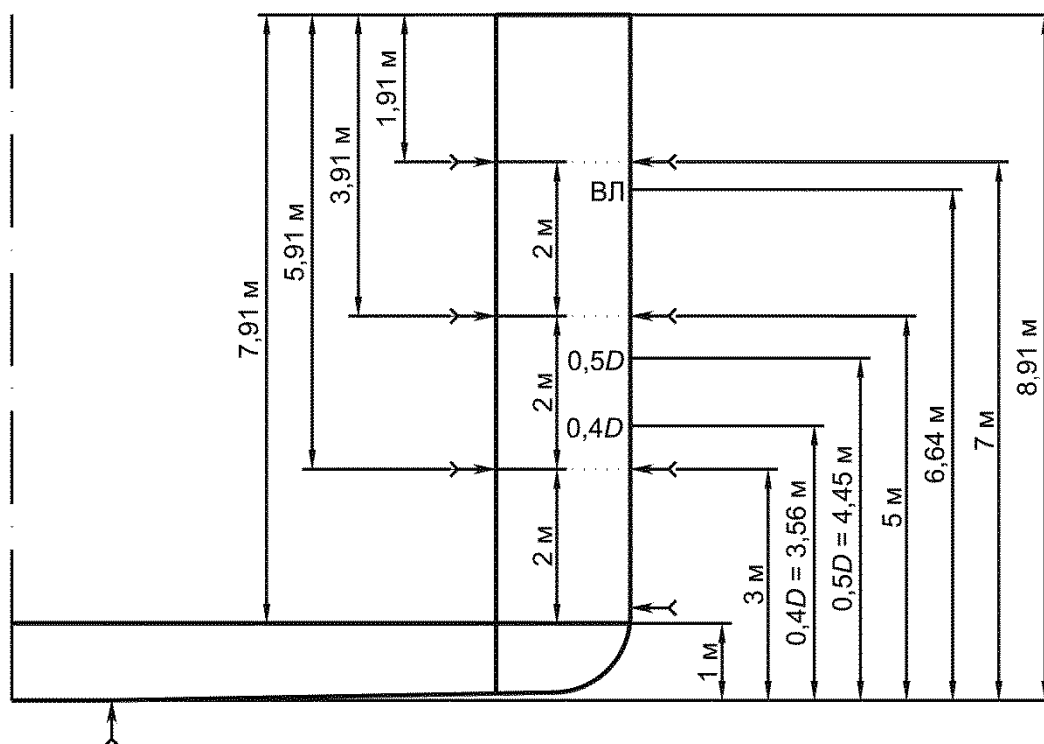


Рис. 2.1. Схема розташування листових поясів та характерні координати

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. 2.4 представлено розрахунок навантажень від дії моря для міделєвого перерізу.

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	$x_1 = 0,5 L$	54,96
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 1,0 для міделєя; 0,8 – для поперечних перерізів у ніс від міделєя; 0,5 – для поперечних перерізів в корму від міделєя	k_x	—	1,00
5	Коефіцієнт	a_v	$a_v = \frac{0,8 \cdot v_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5$	1,97
6	Коефіцієнт	a_x	$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267$	0,27
7	Добуток $a_v \cdot a_x$	—	$a_v \cdot a_x \geq 0,6$	0,60
8	Коефіцієнт	C_w	$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}}$ при $90 < L < 300$ м; $C_w = 10,75$ при $300 < L < 350$ м;	8,13
9	Хвильовий тиск на рівні ВЛ, кПа	P_{w0}	$P_{w0} = 5 C_w \cdot a_v \cdot a_x$	24,39
10	Мінімальний тиск, кПа	$P_{\min}$	$P_{\min} = 0,03 L + 5$	8,30
11	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	—
12	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.

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 для зерна пшениці, т/м ³	ρ_v	—	0,80
6	Прискорення вільного падіння, м/с ²	g	—	9,81
7	Кут внутрішнього тертя навалочного вантажу, град	$\varphi_{в.т.}$	—	28,00
8	Коефіцієнт	k_B	$k_{B1} = \sin^2 \alpha \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{в.т.}}{2} \right) + \cos^2 \alpha,$ $k_{B2} = \cos \alpha,$ $k_B = \max(k_{B1}, k_{B2})$	0,98
9	Коефіцієнт	c	—	0,80
10	Метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м	h	$h = 0,07B$	1,13
11	Розрахункове значення кута диференту, град	ψ	$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}}$	0,11
12	Розрахункове значення крену, град	θ	$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}}$	0,39
13	Період кильової качки, с	T_K	$T_K = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{v_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}$	8,20

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
14	Період бортової качки, с	T_6	$T_6 = \frac{cB}{\sqrt{h}}$	12,13
15	a_{cz} – проекція прискорення центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці, м/с ²	a_{cz}	$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} g$	1,90
16	a_{kz} – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці від кильової качки, м/с ²	a_{kz}	$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \psi x_0$	–
17	a_{6z} – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці від бортової качки, м/с ²	a_{6z}	$a_{6z} = \left(\frac{2\pi}{T_6} \right)^2 \theta y_0$	–
18	a_z – розрахункове прискорення у вертикальному напрямку, м/с ²	a_z	$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4a_{6z}^2}$	–
19	Розрахунковий тиск на конструкції вантажного трюму, кПа	P_B	$P_B = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i \geq 20 \text{ кПа}$	–
20	Відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки, м	$h_{п.т.}$	$h_{п.т.} = D - h_2$	7,91
21	Випробувальний тиск на внутрішнє дно, кПа	$P_{вип}$	$P_{вип} = 7,5 h_{п.т.}$	59,3
22	Тиск аварійного затоплювання на внутрішнє дно, кПа	$P_{а.з.}$	$P_{а.з.} = 10,5(d - h_2)$	59,2
23	Висота трубки над рівнем ВП, м	Δz	–	1,50
24	Відстань від ВП до розглядуваної точки	z_j	–	–
25	Питома густина морської води, т/м ³	ρ	–	1,025
26	Тиск запобіжного клапану, кПа	P_k	–	15
27	Тиск баласту на в'язь, кПа	$P_{бал1}$	$P_{бал1} = 0,75 \rho g(z_j + \Delta z)$	–
28	Тиск баласту на в'язь, кПа	$P_{бал2}$	$P_{бал2} = \rho g z_j + P_k$	–

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	0,00	66,4	12,2	78,6
2	0,4D	3,56	30,8	18,7	49,5
3	0,5D	4,45	21,9	20,4	42,3
4	Рівень ВЛ	6,64	0,0	24,4	24,4
5	Рівень ВП	8,91	0,0	19,9	19,9
6	Зовнішня обшивка борту, нижній пояс (примикає до скули)	1,00	56,4	14,0	70,4
7	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	3,00	36,4	17,7	54,1
8	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	5,00	16,4	21,4	37,8
9	Зовнішня обшивка борту, верхній пояс (примикає до ВП)	7,00	0,0	23,7	23,7

Таблиця 2.7 – Навантаження від дії вантажу в характерних точках

№	Опис	Координата, м			P_v , кПа, за п. 19 табл. 2.5
		x_0	y_0	z_i	
1	Подвійне дно в місці з'єднання з внутрішнім бортом	0	8,05	7,91	74,5
2	Обшивка внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	0	8,05	7,91	26,9
3	Обшивка внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	0	8,05	5,91	20,1
4	Обшивка внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	0	8,05	3,91	20,0
5	Обшивка внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	0	8,05	1,91	20,0

Таблиця 2.8 – Навантаження від дії баласту

№	Опис	Z_j , М, з табл. 2.5, п. 24	$P_{бал1}$, кПа, з табл. 2.5	$P_{бал2}$, кПа, з табл. 2.5	Найбільше $P_{бал} = \max(P_{бал1}, P_{бал2})$
1	Подвійне дно	7,91	71,0	94,5	94,5
2	Рівень зовнішньої обшивки днища (для ВК і стрингерів)	8,91	78,5	104,6	104,6
3	Обшивка внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до	7,91	71,0	94,5	94,5

№	Опис	Z_j , М, з табл. 2.5, п. 24	$P_{бал1}$, кПа, з табл. 2.5	$P_{бал2}$, кПа, з табл. 2.5	Найбільше $P_{бал} = \max(P_{бал1}, P_{бал2})$
	скули)				
4	Обшивка внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	5,91	55,9	74,4	74,4
5	Обшивка внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	3,91	40,8	54,3	54,3
6	Обшивка внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	1,91	25,7	34,2	34,2

Таблиця 2.9 – Характерні навантаження на окремі конструкції

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Тиск на ВП	$P_{вп1}$	$P_{вп1} = 0,7P_w$	13,9
2	Мінімальний тиск на ВП	P_{min}	$P_{min} = 0,015L + 7$	8,6
3	Прийнятий тиск на ВП	$P_{вп}$	$P_{вп} = \max(P_{вп1}, P_{min})$	13,9

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

№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
3	Хвильовий згинальний момент, який викликає прогин КС,	M_{ws}	$M_{ws} = -110 C_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}$	-269744
4	Сумарний згинальний момент при перегині , кН·м	$M_{\Sigma h}$	$M_{\Sigma h} = M_{sw} + M_{wh}$	442010
5	Сумарний згинальний момент при прогині , кН·м	$M_{\Sigma s}$	$M_{\Sigma s} = -M_{sw} + M_{ws}$	-456113
6	Найбільший за модулем розрахунковий згинальний момент у розглядуваному перерізі, кН·м	M_T	$M_T = M_{sw} + M_w $	456113
7	Допустимі нормальні напруження, Мпа	σ	$\sigma = \frac{175}{\eta}$	175
8	Допустимі напруження на зріз, Мпа	τ	$\tau = \frac{110}{\eta}$	110
9	Мінімальний момент опору в середній частині КС, см ³	W_{min1}	$W_{min1} = \frac{M_T}{\sigma} 10^3$	2606360
10	Мінімальний момент опору в середній частині КС, см ³	W_{min2}	$W_{min2} = C_w BL^2 (C_b + 0,7) \eta$	2452221
11	Мінімальний момент інерції в середній частині судна, см ⁴	I_{min}	$I_{min} = 3 C_w BL^3 (C_b + 0,7)$	808690346
12	Коефіцієнт	f_1	—	1,00
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}	$N_{sw} = \pm 30 C_w BL (C_b + 0,7) f_3 \cdot 10^{-2}$	4952
16	Додатня хвильова перерізуюча сила, кН	N_{w+}	$N_{w+} = +30 C_w BL (C_b + 0,7) f_1 \cdot 10^{-2}$	6692
17	Від'ємна хвильова перерізуюча сила, кН	N_{w-}	$N_{w-} = -30 C_w BL (C_b + 0,7) f_2 \cdot 10^{-2}$	-6157

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	$S_{\min}$	$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	9,9
2	Настил верхньої палуби судна, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	9,2
3	Настил другого дна, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta}$	8,8
4	Стінка вертикального кіля та днищевих стрингерів, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 7$	9,7
5	Стінка суцільного флору, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6$	9,8
6	Мінімальна будівельна товщина елементів конструкцій в подвійному дні, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5$	8,2
7	Обшивка внутрішнього борту, мм	$S_{\min}$	$S_{\min} = 0,03 \cdot L + 4,5$	7,8

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); $T = 24$ – 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).

Таблиця 2.12 – Нормативні поправки мінімальних товщин

№ пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік	ΔS , мм
1.1	Настил верхньої палуби	0,10	1,20
1.2	Настил нижніх палуб і платформ	0,11	1,32
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0,17	2,04
3.1.4	Зовнішня обшивка дна	0,20	2,40
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,15	1,80
4.1.4	Настил другого дна в машинному відділенні	0,20	2,40
4.2.4	Міждонний лист	0,20	2,40
5.1.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,13	1,56

№ пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік	ΔS , мм
6.1	Поздовжні балки палуби, бімси, рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,12	1,44
7.1	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	0,10	1,20
8.2	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	0,20	2,40
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,10	1,20

Розрахунок товщини пластинчастих елементів з умов міцності наведено в табл. 2.13, де для внутрішнього борту та обшивки взяті навантаження від баласту з табл. 2.8, тому що їх значення є більшими, аніж значення навантажень від дії вантажу в табл. 2.7 і навантажень в табл. 2.5.

Таблиця 2.13 – Розрахунок товщини пластинчастих елементів з умов міцності

№	Розрахункова точка	Менший розмір пластини a , м	Більший розмір пластини b , м	Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5(a/b)$	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
1	НОД	0,7	2,8	1	78,6	0,6	15,8	8,26	2,4	10,7
2	ВК і стрингери	0,5	2,8	1	104,6	0,75	15,8	6,09	2,04	8,1
3	Настил внутрішнього дна	0,7	2,8	1	94,5	0,8	15,8	7,84	1,8	9,6
4	Обшивка внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	0,7	2,8	1	94,5	0,8	15,8	7,84	1,56	9,4
5	Обшивка внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	0,7	2,8	1	74,4	0,8	15,8	6,96	1,56	8,5
6	Обшивка внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	0,7	2,8	1	54,3	0,8	15,8	5,94	1,56	7,5
7	Обшивка внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	0,7	2,8	1	34,2	0,8	15,8	4,72	1,56	6,3

№	Розрахункова точка	Менший розмір пластини a , м	Більший розмір пластини b , м	Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5(a/b)$	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
8	Зовнішня обшивка борту, нижній пояс (примикає до скули)	0,7	2,8	1	70,4	0,6	15,8	7,82	2,04	9,9
9	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	0,7	2,8	1	54,1	0,6	15,8	6,85	2,04	8,9
10	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	0,7	2,8	1	37,8	0,563	15,8	5,91	2,04	8,0
11	Зовнішня обшивка борту, верхній пояс (примикає до ВП)	0,7	2,8	1	23,7	0,429	15,8	5,36	2,04	7,4
12	Настил ВП	0,7	2,8	1	13,9	0,6	15,8	3,47	1,2	4,7

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	$e = (0,34 + 0,02L \cdot 10^{-2}) D$	3,22
2	Момент опору, см ³	W_d	п. 9 табл. 2.10	2,6064E+06
3	Момент інерції, см ⁴	I	$I = W_d (D - e) \cdot 10^2$	1,4809E+09

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	z_i	—

№	Найменування величини	Позначення	Формула
	знаком, м. Примітка: вісь z – вниз		
2	Стан: перегин/прогин	–	–
3	Сумарний згинальний момент, кН·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 розподілу нормальних напружень із табл. (1.6.5.5-1) Правил	ψ	–
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 $\gamma \leq 1; -1 \leq \psi < 0.$

№	Найменування величини	Позначення	Формула
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 днищової 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.

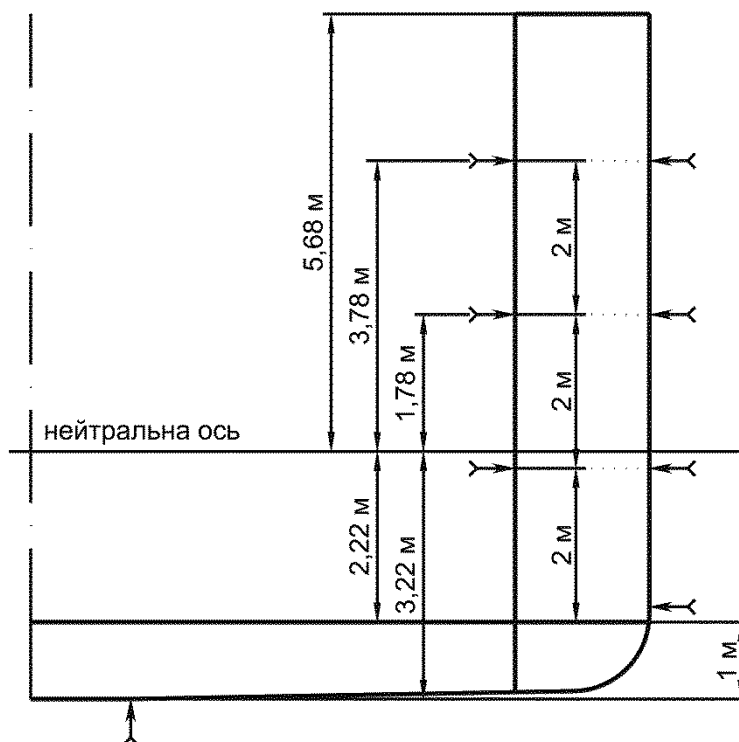


Рис. 2.3. Координати для розрахунку стійкості

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	$\gamma = a/b$	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	3,22	перегин	442010	96,2	1	96,2	0,41	96,2	2,8	0,7	2	1	1,1	4,00	7,97	2,40	10,4
2	ВК і стрингери	3,22	перегин	442010	96,2	1	96,2	0,61	99,5	2,8	0,5	5,6	0,84	1,1	4,33	5,57	2,04	7,6
3	Настил внутрішнього дна	2,22	перегин	442010	66,4	1	66,4	0,28	66,4	2,8	0,7	4	1	1,1	4,00	6,62	1,80	8,4
4	Обшивка внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	2,22	перегин	442010	66,4	1	66,4	0,28	66,4	2,8	0,7	4	0,68	1,1	4,72	6,10	1,56	7,7
5	Обшивка внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	-1,78	прогин	-456113	54,8	1	54,8	0,23	54,8	2,8	0,7	4	0,61	1,1	4,91	5,43	1,56	7,0
6	Обшивка внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	-3,78	прогин	-456113	116,4	1	116,4	0,50	116,4	2,8	0,7	4	0,81	1,1	4,40	8,36	1,56	9,9
7	Обшивка внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	-5,68	прогин	-456113	175,0	1	175,0	0,74	230,1	2,8	0,7	4	0,88	1,1	4,24	11,97	1,56	13,5
8	Зовнішня обшивка борту, нижній пояс (примикає до скули)	2,22	перегин	442010	66,4	1	66,4	0,28	66,4	2,8	0,7	4	0,68	1,1	4,72	6,10	2,04	8,1
9	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	-1,78	прогин	-456113	54,8	1	54,8	0,23	54,8	2,8	0,7	4	0,61	1,1	4,91	5,43	2,04	7,5
10	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	-3,78	прогин	-456113	116,4	1	116,4	0,50	116,4	2,8	0,7	4	0,81	1,1	4,40	8,36	2,04	10,4
11	Зовнішня обшивка борту, верхній пояс (примикає до ВП)	-5,68	прогин	-456113	175,0	1	175,0	0,74	230,1	2,8	0,7	4	0,88	1,1	4,24	11,97	2,04	14,0
12	Настил ВП	-5,68	прогин	-456113	175,0	1	175,0	0,74	230,1	2,8	0,7	4	1	1,1	4,72	11,35	1,20	12,6

В табл. 2.17 представлено остаточний вибір товщин листів.

Таблица 2.17 – Остаточный вибір товщин листів

№	Назва листового елемента	Товщина S , мм				
		З умов міцності	З умов стійкості	Мінімальна за Регістром	Найбільша	Прийнята
1	НОД	10,7	10,4	9,9	10,7	11
2	ВК і стрингери	8,1	7,6	9,7	9,7	10
3	Настил внутрішнього дна	9,6	8,4	8,8	9,6	10
4	Обшивка внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	9,4	7,7	7,8	9,4	10
5	Обшивка внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	8,5	7,0	7,8	8,5	9
6	Обшивка внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	7,5	9,9	7,8	9,9	16
7	Обшивка внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	6,3	13,5	7,8	13,5	20
8	Зовнішня обшивка борту, нижній пояс (примикає до скули)	9,9	8,1	9,9	9,9	10
9	Зовнішня обшивка борту, 2-й пояс від ОП	8,9	7,5	9,9	9,9	10
10	Зовнішня обшивка борту, 3-й пояс від ОП	8,0	10,4	9,9	10,4	17
11	Зовнішня обшивка борту, верхній пояс (примикає до ВП)	7,4	14,0	9,9	14,0	24
12	Настил ВП	4,7	12,6	9,2	12,6	24

Так як товщина настилу ВП приймається меншою ніж товщина борту в місці їх з'єднання, то ставимо палубний стрингер. Його розрахункова ширина становить

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

Ширину подвійного борту b_2 приймаємо рівною 1,045 м, тобто $b_2 = 1,045$ м. Комінгс приймаємо на рівні внутрішнього борту. Приймаємо товщину всієї ВП рівною товщині борту на рівні ВП, тобто 20 мм (див. табл. 2.17). Товщину горизонтального кіля приймаємо $11 + 2 = 13$ мм. Обрані товщини ВП

обґрунтовуються розташуванням механізмів на ВП, які потребують посиленого фундаменту; для борту – необхідністю виконання складних швартовних операцій.

2.5 Проектування ребер жорсткості набору

В табл. 2.18 представлені залежності, які використовуються для визначення 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 з приєднаним пояском обшивки.

Таблиця 2.18 – Залежності для визначення моменту опору балок 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 моменту	m	—
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	W	$W = W' \cdot \omega_k$

№	Найменування величини	Позначення	Формула
	з врахуванням корозії та зносу, см ³		

В табл. 2.19 представлено розрахунок мінімальних моментів опору поперечних перерізів балок катаного профілю.

Таблиця 2.19 – Розрахунок мінімальних моментів опору балок катаного профілю

№	Опис	P , кПа	a , м	l ,м	Q , кН	m	k_{σ}	W'_3 , см ³	α_k	ΔS , мм	ω_k	W_3 , см ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Балки НОД	78,6	0,7	2,8	154,1	12	0,45	339,9	0,0863	2,4	1,207	410,3
2	Балки ВК і стрингерів	104,6	0,5	2,8	146,4	12	0,75	193,9	0,1009	2,4	1,242	240,8
3	Балки настилу внутрішнього дна	94,5	0,7	2,8	185,2	12	0,6	306,5	0,0884	2,4	1,212	371,6
4	Балки обшивки внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	94,5	0,7	2,8	185,2	12	0,65	282,9	0,0902	1,2	1,108	313,6
5	Балки обшивки внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	74,4	0,7	2,8	145,8	12	0,65	222,8	0,0966	1,2	1,116	248,6
6	Балки обшивки внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	54,3	0,7	2,8	106,4	12	0,65	162,6	0,1069	1,2	1,128	183,4
7	Балки обшивки внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	34,2	0,7	2,8	67,0	12	0,65	102,4	0,1286	1,2	1,154	118,2
8	Балки зовнішньої обшивки борту, нижній пояс (примикає до скули)	70,4	0,7	2,8	138,0	12	0,65	210,8	0,0983	1,2	1,118	235,6
9	Балки зовнішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	54,1	0,7	2,8	106,0	12	0,65	162,0	0,1070	1,2	1,128	182,8
10	Балки зовнішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	37,8	0,7	2,8	74,1	12	0,65	113,2	0,1230	1,2	1,148	129,9
11	Балки зовнішньої обшивки, верхній пояс (примикає до ВП)	23,7	0,7	2,8	46,5	12	0,65	71,0	0,1546	1,2	1,185	84,1

№	Опис	P , кПа	a , м	l ,м	Q , кН	m	k_{σ}	W'_3 , см ³	α_k	ΔS , мм	ω_k	W_3 , см ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	Настил ВП	13,9	0,7	2,8	27,2	12	0,45	60,1	0,1698	1,2	1,204	72,4

Маючи мінімально необхідні моменти опору поперечних перерізів балок в табл. 2.19 за сортаментом ГОСТ 21937 – 76 «Полособульб гарачекатаний несиметричний для суднобудування» підбираємо необхідний профіль для кожного з пунктів табл. 2.19. Момент опору підбраного профілю з наявного сортаменту (ГОСТ 21937 – 76) повинен бути мінімально більшим за визначений в табл. 2.19 для кожного з пунктів.

Головний центральний момент інерції i , см⁴, складеного перерізу катаного 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 профілю з сортаменту, см⁴, який згідно сортаменту ГОСТ 21937 – 76 має позначення I_x ; c – ширина приєданого пояску, см; t – товщина приєданого пояску, см; y_0 – відстань від початку стінки до центру мас поперечного перерізу профілю, см (див. позначення сортаменту); $f_{\text{пр}}$ – площа поперечного перерізу профілю, см².

Мінімальний момент опору W_{min} , см³, складеного перерізу катаного профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

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

Площа складеного перерізу f , см², катаного профілю з приєднаним пояском обшивки визначається залежністю

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

Ейлерові напруження σ_e для ребер жорсткості визначаються залежністю

$$\sigma_e = \frac{206i}{f \cdot l^2}, \quad (9)$$

де i – момент інерції балки, см^4 , з приєднаним пояском, що розрахований для товщини, зменшеної на величину ΔS , (табл. 1.6.5.5-2 Правил); f – площа поперечного перерізу балки, см^2 , з приєднаним пояском, яка розрахована для товщини, зменшеної на величину ΔS , (табл. 1.6.5.5-2 Правил); l – прогін балки, м. Ширину приєданого пояса c при розрахунку i та f беремо як відстань між балками основного набору, тобто $c = 0,7$ м. Розрахунок ейлеревих напружень σ_e за (9) ведеться без врахування зносу та корозії. Величини i та f у формулі (9) визначені відповідно залежностями (6) та (8).

Критичні напруження σ_{cr} для балок набору визначаються залежністю

$$\sigma_{cr} = \begin{cases} \sigma_e & \text{при } \sigma_e \leq 0,5R_{eH}; \\ R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) & \text{при } \sigma_e > 0,5R_{eH}. \end{cases} \quad (10)$$

Використовуючи формули (6) – (10) і сортамент ГОСТ 21937 – 76 підбираємо необхідні профілі для кожного з пунктів табл. 2.19 і одночасно перевіряємо їх стійкість. Відповідні результати представлені в табл. 2.20.

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

$$k\sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad (11)$$

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.

Ширина приєданого пояску обшивки c , яка примикає до ребер жорсткості набору визначається наступною залежністю

$$c = \min \left(\frac{l}{6}; \frac{a_1 + a_2}{2} \right) = \min \left(\frac{2,8}{6} = 0,47; \frac{0,7 + 0,7}{2} = 0,7 \right) = 0,47 \text{ м}, \quad (12)$$

де a_1, a_2 – відстані від розглядуваної балки до найближчих сусідніх балок того ж напрямку, розташованих по обидва боки від неї.

Для всіх балок значення ширини приєданого пояску буде $c = 0,47$ м, яка визначена за (12). Навіть для балок ВК і стрингерів, де $a_1 = a_2 = 0,5$ м, $c = 0,47$ м.

Таблиця 2.20 – Необхідні катані профілі з сортаменту ГОСТ 21937 – 76

№	Опис	Ширина приєднаного пояску s , см	Товщина приєднаного пояску t , см	Необхідний момент опору W , см ³ , ст. 13, табл. 2.19	Параметри профілю з приєднаним пояском				Довжина прольоту l , м	σ_e	σ_{cr}	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					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	РЖ НОД	47	1,1	410,3	439,0	246	7774,27	95,25	2,8	2144,6	228,6	96,2	так
2	РЖ ВК і стрингерів	47	1	240,8	250,0	20а	3942,81	74,36	2,8	1393,2	225,1	96,2	так
3	РЖ настилу внутрішнього дна	47	1	371,6	404,8	24а	7134,45	85,75	2,8	2186,1	228,7	66,4	так
4	РЖ обшивки внутрішнього борту, нижній пояс (примикає до скули)	47	1	313,6	321,7	22а	5382,81	79,82	2,8	1771,9	227,2	66,4	так
5	РЖ обшивки внутрішнього борту, 2-й пояс від ОП	47	0,9	248,6	268,3	20б	4057,33	73,66	2,8	1447,3	225,5	54,8	так
6	РЖ обшивки внутрішнього борту, 3-й пояс від ОП	47	1,6	183,4	186,5	18а	2754,61	69,18	2,8	1046,2	221,8	116,4	так
7	РЖ обшивки внутрішнього борту, верхній пояс (примикає до ВП)	47	2	118,2	122,0	14б	1653,15	110,8 ₅	2,8	391,9	199,8	175,0	так
8	РЖ зовнішньої обшивки борту, нижній пояс (примикає до скули)	47	1	235,6	250,0	20а	3942,81	74,36	2,8	1393,2	225,1	66,4	так
9	РЖ зовнішньої обшивки борту, 2-й пояс від ОП	47	1	182,8	186,5	18а	2754,61	69,18	2,8	1046,2	221,8	54,8	так
10	РЖ зовнішньої обшивки борту, 3-й пояс від ОП	47	1,7	129,9	140,0	16а	1936,85	69,64	2,8	730,8	216,1	116,4	так

№	Опис	Ширина приєднаного поясу c , см	Товщина приєднаного поясу t , см	Необхідний момент опору W , см^3 , ст. 13, табл. 2.19	Параметри профілю з приєднаним пояском				Довжина прольоту l , м	σ_e	σ_{cr}	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					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	РЖ зовнішньої обшивки, верхній пояс (примикає до ВП)	47	2,4	84,1	112,1	14а	1580,04	126,8 5	2,8	327,3	192,8	175,0	так
12	РЖ настилу ВП	47	2,4	72,4	79,5	12	987,11	123,9 3	2,8	209,3	169,0	175,0	НІ

З табл. 2.20 видно, що стійкість РЖ настилу ВП не забезпечена. З умов стійкості підбираємо профіль момент інерції i і площа якого (з приєднаним пояском обшивки) забезпечать критичні напруження, які мінімально більші за $k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 175 = 192,5$ МПа. Таким профілем є полоособульб 14а, у якого $\sigma_e = 313,6$ МПа; $\sigma_{кр} = 191,0$ МПа; $i = 1580,04$ см^4 ; $f = 126,85$ см^2 (з приєднаним пояском обшивки).

З табл. 2.20 видно, що відношення довжини балки $l = 2,8$ м до висоти профілю $h = 0,24$ м в найбільш несприятливому випадку для профілю 24б становить $2,8/0,24 = 11,7 > 10$. Це значить, що підбирати необхідну площу поперечного перерізу балок набору з умов міцності на зріз не потрібно.

2.6 Перевірка загальної поздовжньої міцності

На рис. 2.4 представлено схему еквівалентного бруса в масштабі. У міжбортовому просторі ставимо 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 можливістю баластування за

допомогою роздільних відсіків, які мають різну висоту. Товщину настилу поздовжніх платформ приймаємо $s = 20$ мм, а РЖ – полосу бульб $20a$. Таким чином буде гарантуватися їх міцність і стійкість. З метою уніфікації приймаємо РЖ ВП полосу бульб $20a$.

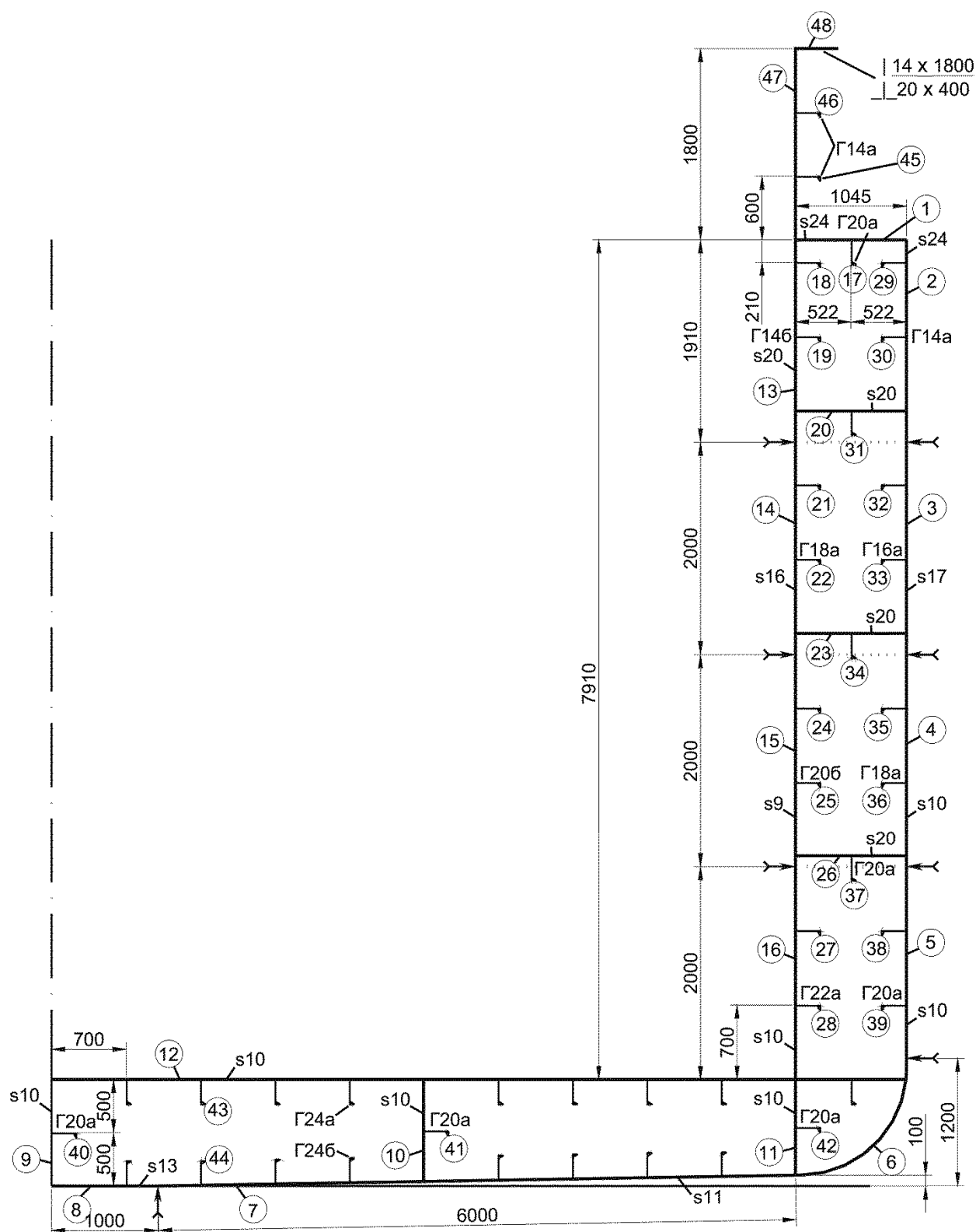


Рис. 2.4. Еквівалентний брус поперечного перерізу судна на міделі

В табл. 2.21 представлено розрахунок еквівалентного бруса (ЕБ) поперечного перерізу корпусу судна. В табл. 2.21 прийняті наступні позначення: t – товщина листа, мм, або номер прокатного профілю; b – ширина листа або радіус округлення скули (тільки для скули), мм; z – відстань, м, від ЦМ в'язі до осі порівняння, яка прийнята на рівні ОП (ось z – вверх); ВП – верхня палуба; ЗОБ – зовнішня обшивка борту; НОД – наружна обшивка днища; ГК – горизонтальний киль; ВК – вертикальний киль; ВОБ – внутрішня обшивка борту; РЖ – ребро жорсткості.

Таблиця 2.21 – 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	настил ВП	24	1045	8,91	1	2,5080E-02	2,2346E-01	1,9911E+00	1,2038E-06
2	ЗОБ верхн	24	1910	7,955	1	4,5840E-02	3,6466E-01	2,9008E+00	1,3936E-02
3	ЗОБ 3-й від ОП	17	2000	6	1	3,4000E-02	2,0400E-01	1,2240E+00	1,1333E-02
4	ЗОБ 2-й від ОП	10	2000	4	1	2,0000E-02	8,0000E-02	3,2000E-01	6,6667E-03
5	ЗОБ до скули	10	2000	2	1	2,0000E-02	4,0000E-02	8,0000E-02	6,6667E-03
6	Лист скули	11	1000	0,363	1	1,7279E-02	6,2788E-03	2,2816E-03	1,6366E-03
7	НОД	11	6000	0,05	1	6,6000E-02	3,3000E-03	1,6500E-04	6,6550E-07
8	ГК	13	1000	0	1	1,3000E-02	0,0000E+00	0,0000E+00	1,8308E-07
9	ВК	5	1000	0,5	1	5,0000E-03	2,5000E-03	1,2500E-03	4,1667E-04
10	Стрингер 1	10	961	0,52	1	9,6100E-03	4,9972E-03	2,5985E-03	7,3959E-04
11	Стрингер 2	10	898	0,545	1	8,9800E-03	4,8941E-03	2,6673E-03	6,0346E-04
12	Настил 2-го дна	10	8045	1	1	8,0450E-02	8,0450E-02	8,0450E-02	6,7042E-07
13	ВОБ верхн	20	1910	7,955	1	3,8200E-02	3,0388E-01	2,4174E+00	1,1613E-02
14	ВОБ 3-й від ОП	16	2000	6	1	3,2000E-02	1,9200E-01	1,1520E+00	1,0667E-02
15	ВОБ 2-й від ОП	9	2000	4	1	1,8000E-02	7,2000E-02	2,8800E-01	6,0000E-03
16	ВОБ до скули	10	2000	2	1	2,0000E-02	4,0000E-02	8,0000E-02	6,6667E-03
17	РЖ ВП	20а		8,786 5	1	2,7360E-03	2,4040E-02	2,1123E-01	1,0834E-05

№	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
18	РЖ ВОБ	16а		8,7	1	1,7940Е-03	1,5608Е-02	1,3579Е-01	4,5207Е-06
19	РЖ ВОБ	16а		8	1	1,7940Е-03	1,4352Е-02	1,1482Е-01	4,5207Е-06
20	Лист платф.	20	1045	7,3	1	1,7940Е-03	1,3096Е-02	9,5602Е-02	4,5207Е-06
21	РЖ ВОБ	18а		6,6	1	2,2180Е-03	1,4639Е-02	9,6616Е-02	7,1253Е-06
22	РЖ ВОБ	18а		5,9	1	2,2180Е-03	1,3086Е-02	7,7209Е-02	7,1253Е-06
23	Лист платф.	20	1045	5,2	1	2,2180Е-03	1,1534Е-02	5,9975Е-02	7,1253Е-06
24	РЖ ВОБ	20б		4,5	1	3,1360Е-03	1,4112Е-02	6,3504Е-02	1,2361Е-05
25	РЖ ВОБ	20б		3,8	1	3,1360Е-03	1,1917Е-02	4,5284Е-02	1,2361Е-05
26	Лист платф.	20	1045	3,1	1	3,1360Е-03	9,7216Е-03	3,0137Е-02	1,2361Е-05
27	РЖ ВОБ	22а		2,4	1	3,2820Е-03	7,8768Е-03	1,8904Е-02	1,5749Е-05
28	РЖ ВОБ	22а		1,7	1	3,2820Е-03	5,5794Е-03	9,4850Е-03	1,5749Е-05
29	РЖ ВОБ	14а		8,7	1	1,4050Е-03	1,2224Е-02	1,0634Е-01	2,7151Е-06
30	РЖ ВОБ	14а		8	1	1,4050Е-03	1,1240Е-02	8,9920Е-02	2,7151Е-06
31	РЖ платф.	20а		7,176 5	1	2,7360Е-03	1,9635Е-02	1,4091Е-01	1,0834Е-05
32	РЖ ВОБ	16а		6,6	1	1,7940Е-03	1,1840Е-02	7,8147Е-02	4,5207Е-06
33	РЖ ВОБ	16а		5,9	1	1,7940Е-03	1,0585Е-02	6,2449Е-02	4,5207Е-06
34	РЖ платф.	20а		5,076 5	1	2,7360Е-03	1,3889Е-02	7,0509Е-02	1,0834Е-05
35	РЖ ВОБ	18а		4,5	1	2,2180Е-03	9,9810Е-03	4,4915Е-02	7,1253Е-06
36	РЖ ВОБ	18а		3,8	1	2,2180Е-03	8,4284Е-03	3,2028Е-02	7,1253Е-06
37	РЖ платф.	20а		2,976 5	1	2,7360Е-03	8,1437Е-03	2,4240Е-02	1,0834Е-05
38	РЖ ВОБ	20а		2,4	1	2,7360Е-03	6,5664Е-03	1,5759Е-02	1,0834Е-05
39	РЖ ВОБ	20а		1,7	1	2,7360Е-03	4,6512Е-03	7,9070Е-03	1,0834Е-05
40	РЖ ВК	20а		0,5	1	2,7360Е-03	1,3680Е-03	6,8400Е-04	1,0834Е-05
41	РЖ стрингера 1	20а		0,52	1	2,7360Е-03	1,4227Е-03	7,3981Е-04	1,0834Е-05
42	РЖ стрингера 2	20а		0,545	1	2,7360Е-03	1,4911Е-03	8,1266Е-04	1,0834Е-05
43	РЖ 2-го дна	24а		0,853	9	3,4875Е-02	2,9748Е-02	2,5375Е-02	1,9953Е-04
44	РЖ НОД	24б		0,186	8	3,4840Е-02	6,4802Е-03	1,2053Е-03	1,9830Е-04
45	РЖ комінгса	14а		9,51	1	1,4050Е-03	1,3362Е-02	1,2707Е-01	2,7151Е-06
46	РЖ комінгса	14а		10,11	1	1,4050Е-03	1,4205Е-02	1,4361Е-01	2,7151Е-06
47	стінка комінгса	14	1800	9,81	1	2,5200Е-02	2,4721Е-01	2,4251Е+00	6,8040Е-03
48	полка комінгса	20	400	10,71	1	8,0000Е-03	8,5680Е-02	9,1763Е-01	2,6667Е-07

№	Назва в'язі	t	b	z	n	Площа F , м^2	Статичний момент $S_x = F \cdot z$, м^3	Переносний момент інерції $I_{xtr} = F \cdot z^2$, м^4	Власний момент інерції i , м^4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Σ_1	Σ_2	Σ_3	
						0,6226	2,2961	15,9010	

В табл. 2.22 представлено розрахунок основних геометричних характеристик поперечного перерізу еквівалентного бруса на основі табл. 2.21.

Таблиця 2.22 – Розрахунок геометричних характеристик поперечного перерізу еквівалентного бруса

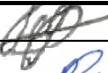
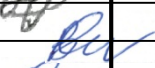
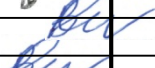
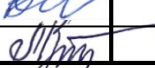
№	Найменування величини	Позначення	Формула	Значення
1	Площа, м^2	F	$F = 2 \cdot \Sigma_1$	1,2453
2	Відстань НО від ОП, м	e	$e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$	3,69
3	Момент інерції, м^4	I	$I = 2(\Sigma_3 - e^2 \cdot \Sigma_1)$	14,8667
4	Відстань від ОП до крайньої верхньої в'язі, м	$z_{\max}$	з табл. 2.21	10,71
5	Відстань від НО до НОД, м, за модулем	$ z_b $	$ z_b = e $	3,69
6	Відстань від НО до ВП, м, за модулем	$ z_d $	$ z_d = z_{ВП} - e $	5,22
7	Момент опору днища, м^3	W_b	$W_b = \frac{I}{ z_b }$	4,0313
8	Момент опору ВП, м^3	W_d	$W_d = \frac{I}{ z_d }$	2,8468
9	Мінімальний момент опору, м^3	W	$W = \min(W_b, W_d)$	2,8468

В табл. 2.23 представлено порівняння дійсних геометричних характеристик еквівалентного бруса з мінімальними, які взяті з пп. 9, 10, 11 табл. 2.10.

Таблиця 2.23 – 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	2606360
2	Момент опору нормативний мінімальний 2-й, см^3	$W_{\min 2}$	п. 10 табл. 2.10	2452221
3	Момент інерції мінімальний, см^4	$I_{\min}$	п. 11 табл. 2.10	808690346
4	Момент опору нормативний мінімальний, см^3	$W_{\min}$	$W = \max(W_{\min 1}, W_{\min 2})$	2606360
5	Момент опору днища ЕБ, см^3	W_b	п. 7 табл. 2.22	4031313
6	Момент опору ВП ЕБ, см^3	W_d	п. 8 табл. 2.22	2846823
7	Момент інерції ЕБ, см^4	I	п. 3 табл. 2.22	14866677105181
8	Виконання умови	—	$W_b > W_{\min}$	так
9	Виконання умови	—	$W_d > W_{\min}$	так
10	Виконання умови	—	$I > I_{\min}$	так

Як видно з табл. 2.23 всі нормативні вимоги до значень геометричних характеристик ЕБ виконуються.

					КР.135.2117ст.03.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перевірка міцності і стійкості в'язей корпусу судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Галаган С.В.						51	
Консульт.	Соков В.М.					НУК		
Керівник	Соков В.М.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

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).

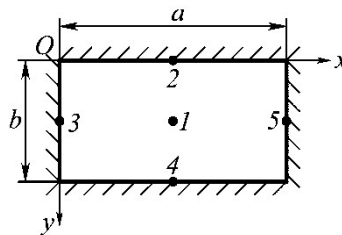


Рис. 3.1. Пластина жорстко защемлена на всіх кромках

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

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

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	0,7
2	Довга сторона, м	a	2,8
3	Відношення сторін	$a : b$	4
4	Товщина пластини, м	h	0,011
5	Модуль Юнга, Па	E	2,00E+11
6	Навантаження по полю пластини, Па	q	78611,4
7	Коефіцієнт для w_1	v з табл. 19.3 [5]	0,0282
8	Прогин (найбільший) в точці 1, м	$w_1 = v \frac{qb^4}{Eh^3}$	1,9995E-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	$M_{x1} = v_{11} qb^2$	635,6
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	$M_{y1} = v_{21} qb^2$	1567,7
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	$M_{x3} = v_{13} qb^2$	2199,5
15	Коефіцієнт для M_{y2}	v_{22} з табл. 19.3 [5]	0,0833
16	Згинальний (погонний) момент в точці 2, в напрямі осі y , Н	$M_{y2} = v_{22} qb^2$	3208,7
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	$N_{x3} = v_{33} qb$	26468,5
19	Коефіцієнт для N_{y2}	v_{42} з табл. 19.3 [5]	0,519
20	Зрізуючі зусилля в точці 2, в площадках перпендикулярних осі y , Н/м	$N_{y2} = v_{42} qb$	28559,5

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}	635,6	31,5
2	M_{y1}	1567,7	77,7
3	M_{x3}	2199,5	109,1
4	M_{y2}	3208,7	159,1

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}	26468,5	3,6
2	N_{y2}	28559,5	3,9

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

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{235}{1,4} = 167,9 \text{ МПа}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma] = 167,9 \text{ МПа}$ – допустимі напруження; $\sigma_s = 235 \text{ МПа}$ – 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	31,5	77,7	67,7	167,9	так
2	0	159,1	159,1	167,9	так
3	109,1	0	109,1	167,9	так

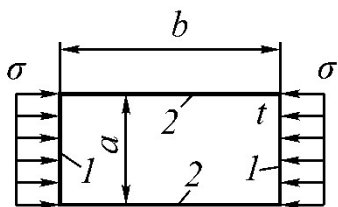
Висновок. Згідно даних табл. 3.4 міцність пластин зовнішньої обшивки днища забезпечена.

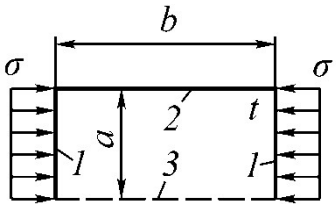
3.2 Перевірка пластин на стійкість

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

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

де $\sigma_s = 235$ 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	$M_{\Sigma h}$	442010
2	Сумарний згинальний момент при прогині , кН·м	$M_{\Sigma s}$	-456113

№	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	235
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	14,8667
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_{Σ} , 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	-7,02	прогин	-456113	0,6	1,4	0,014	186,7	172,1	215,4	ні
2	Вільний фланець комінгса	2	-7,02	прогин	-456113	0,4	1,4	0,02	42,0	42,0	215,4	ні
3	Настил ВП	1	-5,22	прогин	-456113	0,5	2,8	0,024	384,0	235,0	160,2	так
4	Верхній пояс ЗОБ	1	-5,22	прогин	-456113	0,7	2,8	0,024	274,3	209,0	160,2	так
5	Верхній пояс ВОБ	1	-5,22	прогин	-456113	0,7	2,8	0,02	228,6	192,4	160,2	так
6	Верхня поздовжня міжбортова платформа	1	-3,61	прогин	-456113	0,522	2,8	0,02	306,5	218,4	110,8	так
7	НОД	1	3,69	перегин	442010	0,7	2,8	0,011	125,7	125,7	109,7	так
8	ВК і стрингери	1	3,69	перегин	442010	0,5	2,8	0,01	160,0	155,2	109,7	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.

3.3 Перевірка балок набору на міцність та стійкість

При розрахунку міцності торці балок набору вважаються жорстко защемленими, а в прольоті діє рівномірно розподілене навантаження (рис. 3.2, а). При розрахунку стійкості торці балок набору вважаються вільно обпертими на

жорсткі шарнірні опори, прольот вільний від будь-яких навантажень, при цьому торці стискаються рівномірною стискаючою силою (рис. 3.2, б). Балки набору розраховуються з врахуванням приєднаного пояску обшивки. Геометричні характеристики складеного перерізу катаного профілю з приєднаним пояском обшивки для розрахунку міцності і стійкості можна визначати залежностями (6), (7), (8) розділу 2. Ці характеристики вже визначені в табл. 2.20.

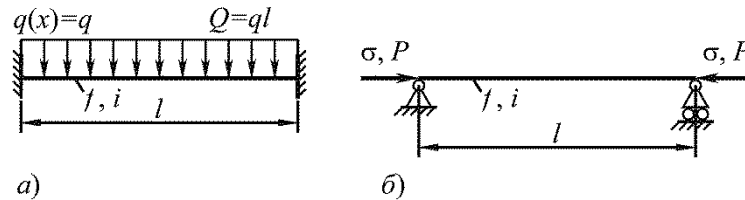


Рис 3.2. Розрахункові схеми балки набору: а – для розрахунку міцності; б – для стійкості

Для жорстко защемленої балки по торцях і рівномірній дії розподіленого навантаження в прольоті найбільш небезпечний переріз має місце в жорсткому защемленні. Згинальний момент в цьому небезпечному перерізі становить

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{Q \cdot l}{12} = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{a \cdot p \cdot l^2}{12}; \\ Q &= q \cdot l; \quad q = a \cdot p, \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

де Q – головний вектор розподіленого навантаження, Н, який береться з табл. 2.19; l – довжина прогону балки, м; a – відстань між балками набору, м; p – тиск, Па.

Умова міцності балки за нормальними напруженнями має вигляд

$$\sigma_{РЖ} \leq [\sigma], \quad (3.8)$$

де $\sigma_{РЖ}$ – найбільші нормальні напруження для РЖ, що діють у найвіддаленішій точці від НО РЖ, які визначаються залежністю

$$\sigma_{РЖ} = \frac{M}{W_{\phi}}, \quad (3.9)$$

де W_{ϕ} – фактичний (мінімальний) момент опору з табл. 2.20, м³; $[\sigma] = 167,9$ МПа – допустимі напруження, визначені (3.5).

В табл. 3.8 представлено перевірку обраних балок на міцність. Розрахунок на стійкість балок набору вже був проведений в табл. 2.20. Але так як були визначені реальні геометричні характеристики еквівалентного бруса, то необхідно знову розраховувати нові стискуючі напруження. Буде проведено розрахунок стійкості з використанням інших формул для критичних напружень.

Таблиця 3.8 – Перевірка обраних балок набору на міцність

№	Назва	l , м	Q , кН	$M = \frac{Ql}{12}$, Н·м	W_{ϕ} , см ³	$\sigma_{РЖ}$, МПа	Умова міцності $\sigma_{РЖ} \leq$ [σ]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	РЖ НОД	2,8	154,1	35946,4	439,0	81,9	так
2	РЖ 2-го дна	2,8	146,4	34169,3	250,0	136,7	так
3	РЖ ВК і стрингерів	2,8	185,2	43218,0	404,8	106,8	так

Критичні напруження для балок набору визначаються залежностями

$$\left. \begin{aligned} \text{если } \frac{\sigma_y}{\sigma_s} < 0,6 \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_y \\ \text{если } 0,6 \leq \frac{\sigma_y}{\sigma_s} \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_s \left(1,1 - \frac{0,3}{(\sigma_y/\sigma_s)} \right) \\ \text{если } \sigma_{кр} \geq \sigma_s \quad \text{то } \sigma_{кр} &= \sigma_s \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

В табл. 3.9 представлена перевірка стійкості обраних балок набору з умов стійкості, де геометричні характеристики були визначені в табл. 2.20.

Таблиця 3.9 – Перевірка стійкості обраних балок набору з умов стійкості

№	Розрахункова точка	z_i , м	Стан: перегин або прогин	M_{Σ} , кН·м	Момент інерції I , см ⁴	Площа F , см ²	Довжина прольоту l , м	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження $\sigma_{кр}$, МПа	Стискуючі напруження σ_c , МПа	Виконання умови стійкості $\sigma_c < \sigma_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	РЖ стінки	-6,42	прогин	-456113	1163,30	46,25	1,4	2533,1	235,0	-197,0	так

№	Розрахункова точка	Z_i , м	Стан: перегин або прогин	M_{Σ} , кН·м	Момент інерції I , см ⁴	Площа F , см ²	Довжина прольоту l , м	Ейлерові напруження σ_e , МПа	Критичні напруження $\sigma_{кр}$, МПа	Стискуючі напруження σ_c , МПа	Виконання умови стійкості $\sigma_c < \sigma_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	комінгса (верхнє)										
2	РЖ настилу ВП	-5,22	прогин	-456113	5180,32	140,16	2,8	930,6	235,0	-160,2	так
3	РЖ НОД	3,69	перегин	442010	7379,99	90,45	2,8	2054,3	235,0	-109,7	так
4	РЖ ВК і стрингерів	3,19	перегин	442010	3942,81	74,36	2,8	1335,0	235,0	-94,8	так

З табл. 3.9 видно, що стійкість всіх обраних балок набору забезпечена.

ВИСНОВОК

На прикладі розробки початкового проекту суховантажного судна 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.135.2117ст.03.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 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.Матвеев, А.І.Кузнецов, 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.