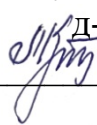


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

КОРАБЛЕБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

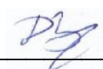
Кафедра Будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри БМ та ККК,
 д-р техн. наук, професор
Коростильов Л.І.
«15» червня 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: **Балкер вантажопідйомністю 52 000 тонн**

Виконав студент 4111 групи

 Дзембак В.Р.

Керівник роботи
доцент кафедри, канд.техн.наук

 Соков В.М.

Миколаїв 2025

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)

«26» травня 2025 року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту групи 4111

Дзембаку Віктору Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Балкер вантажопідйомністю 52000 тонн»,

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

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

Затверджені наказом № 401 уч. ВНЗ від «26» травня 2025 року,

2. Строк подання студентом роботи: «15» червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Вантажопідйомність (вантажомісткість)	52 000 тонн
3.2 Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура)	0,714 м ³ /т
3.3 Швидкість експлуатаційна	15,7 вузл.
3.4 Клас судна за Правилами класифікаційного товариства	—
3.5 Дальність та район плавання	15000 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 і загального розташування.

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. Загальне розташування.

5.3. Гідростатичні криві: діаграма міцності, діаграма статичної остійності, діаграма динамічної остійності.

5.4. Креслення конструктивного мідель-шпангоута.

6. Консультанти розділів роботи

№	Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Визначення головних розмірів судна	Пащенко Ю.М., доцент		
2	Розрахунок елементів корпусу судна за правилами класифікаційного товариства України	Пащенко Ю.М., доцент		
3	Перевірка міцності і стійкості в'язей корпусу судна	Соков В.М., в.о. доцента		

7. Дата видачі завдання «05» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	15.03.2025р.	виконано
2	Побудова теоретичного креслення і загального розташування	24.03.2025р.	виконано
3	Побудова гідростатичних кривих	29.03.2025р.	виконано
4	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства та перевірка його вимог. Конструктивний мідель-шпангоут.	21.04.2025р.	виконано
5	Перевірка міцності і стійкості пластин	04.06.2025р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки.	15.06.2025р.	виконано

Студент



(підпис)

Дзембак В.Р.

Керівник роботи



(підпис)

Соков В.М.

АНОТАЦІЯ

Дзембак В.Р. «Балкер вантажопідйомністю 52 000 тонн». Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньої програми «Міжнародна технічна інформація у морській діяльності». Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова. 2025. 64 с.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі представлено проект балкера вантажопідйомністю 52 000 тонн. Робота складається з трьох розділів, які характеризують основні етапи проектування судна. У першому розділі відбувається визначення головних розмірів судна-проекту із судна-прототипу методом послідовних наближень шляхом вирішення рівняння мас, а також отримані гідростатичні криві. У другому розділі відбувається розрахунок елементів корпусу судна за Правилами класифікаційного товариства України. У третьому розділі ведеться перевірка обраних пластин і балок набору з умов міцності і стійкості.

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

ANNOTATION

Dzembak Viktor. “Bulk carrier with cargo capacity 52,000 tonns”. Bachelor’s qualification work in the specialty 135 “Shipbuilding” of the educational program “International technical information in maritime activities”. Mykolaiv: NUOS. 2025. 64 p.

In the given bachelor qualifying work there is presented the project of the bulk carrier with cargo capacity 52,000 tons. The work consists of the three sections, which characterize the general stages of ship design. In the first 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 second 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 third 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: bulk carrier, design, seaworthiness, strength, stability.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

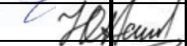
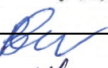
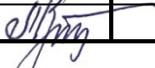
ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА	9
1.1 Визначення елементів проекту в першому наближенні	9
1.2 Розрахунок потужності і вибір головного двигуна	12
1.3 Визначення елементів проекту в другому наближенні	12
1.4 Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості та початкової остійності	17
1.5 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ	17
1.6 Розрахунок місткості	19
1.7 Розрахунок завантаження, визначення координат ЦВ і удиферентовка проекту	21
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ	24
2.1. Перевірка головних розмірів судна	24
2.2 Архітектурно-конструктивний тип судна	25
2.3 Вибір системи набору перекриттів корпусу судна	25
2.4 Вибір марки сталі для корпусу судна	25
2.5 Вибір шпациї	26
2.6 Врахування зносу та корозії	27
2.7 Визначення згинальних моментів	28
2.8 Визначення розрахункових навантажень	30
2.9 Визначення товщин листових конструкцій	37
2.10 Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру	44
3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА	60
3.1 Розрахункова схема пластини днищового перекриття	60
3.2 Розрахункове навантаження	61
3.3 Визначення напружень в небезпечних точках поля пластини	61
3.4 Перевірка умов міцності	62
ВИСНОВОК	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64

ВСТУП

Проект балкера вантажопідйомністю 52 000 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.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Дзембак В.Р.				Визначення головних розмірів судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Консульт.	Пашенко Ю.М.							
Керівник	Соков В.М.					НУК		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

1 ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА

1.1 Визначення елементів проєкту в першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності.

Для визначення водотоннажності складається алгебраїчне рівняння мас:

$$\Delta = P_K + P_{об} + P_{еу} + P_{пв} + P_{пос} + P_{зв} + P_{б} + P_{в} \quad (1)$$

де Δ – водотоннажність, $P_K, P_{об}, P_{еу}, P_{пв}, P_{пос}, P_{зв}, P_{б}, P_{в}$ – маси розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки (ЕУ), палива, води і масла (далі палива), постачання, запасу водотоннажності, баласту і вантажу

Після підстановки розрахункових формул для складових навантаження мас вираз (1) матиме вигляд

$$\Delta = a_K \Delta + q_{об} \Delta^{\frac{2}{3}} + q_{еу} \Delta^{\frac{2}{3}} \frac{v_{и}^3}{C_{и}} + q_{пкмкп} R \Delta^{2/3} \frac{v_e^3}{C_e} \Delta^{2/3} + a_{пос} \Delta + a_{зв} \Delta + P_{гр}$$

Підставимо всі відомі величини в рівняння мас для отримання значення водотоннажності судна у першому наближенні:

$$0,1489\Delta_1 + 1,6499 \cdot \Delta_1^{\frac{2}{3}} + 0,008 \frac{\Delta_1^{\frac{2}{3}} \cdot 15,5^3}{501} + 0,0002681 \frac{\Delta_1^{\frac{2}{3}} \cdot 15^2}{658} \cdot 15000 \cdot 1,15 \cdot 1,15 + 0,0046\Delta_1 - 0,0013\Delta_1 + 52000 = \Delta_1$$

Перетворимо рівняння в такий вигляд

$$\Delta(1 - a_K - a_{сн} - a_{зв}) - \Delta^{\frac{2}{3}} \left(q_o + q_{эу} \frac{v_{и}^3}{C_{и}} + q_{тв} \frac{v_{э}^2}{C_{э}} R \right) - P_{гр} = 0 \quad (2)$$

$$\Delta_1 = 0,8478 \Delta + 4,063 \Delta^{2/3} + 52000$$

Використовуючи метод підбору в програмі Ехсел вирішимо рівняння (2) і отримаємо водотоннажність проєкту в 1-му наближенні: $\Delta_1 = 69428$ т. Звідки знайдемо маси розділів навантаження проєкту:

Таблиця 1.1

Маса корпусу (т)	$P_K = a_K \Delta$	10388
Маса обладнання (т)	$P_o = q_o \Delta^{2/3}$	2785
Маса енергетичної установки (т)	$P_{эу} = q_{эу} \Delta^{2/3} \frac{v_{и}^3}{C_{и}}$	1005

Маса палива (т)	$P_{пв} = q_{пв} \Delta^{2/3} \frac{v_3^2}{C_3} R$	3070
Маса постачання (т)	$P_{пос} = a_{пос} \Delta$	320
Маса запаса водотоннажності (т)	$P_{зв} = a_{зв} \Delta$	-90
Вантаж	P_B	52000
Водотоннажність (т)	Δ	69428

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу.

Отримавши значення водотоннажності, можна розраховувати головні розміри проекту судна. Спочатку визначаються наступні характеристики форми корпусу.

Відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{D}{\rho}}} = \frac{217,3}{\sqrt[3]{\frac{73611}{1,025}}} = 5,217$$

Очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{D_1}{\rho}} = 5,217 \cdot \sqrt[3]{\frac{69428}{1,025}} = 212,6 \text{ м}$$

Числа Фруда:

$$\overline{Fr} = \frac{0,514 \overline{v_e}}{\sqrt{g \bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 14,3}{\sqrt{9,81 \cdot 217,3}} = 0,159$$

$$Fr = \frac{0,514 v_e}{\sqrt{g L}} = \frac{0,514 \cdot 15,0}{\sqrt{9,81 \cdot 212,6}} = 0,169$$

Таблиця 1.2

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
Коеф. загальної повноти	$C_b = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \exp(-24Fr)}$	0.824	0.830	0.824
Призматичний коеф.	$C_p = 0,04 + 0,96 C_b$	0.831	0,826	0.831

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Коеф. повноти мідель- шпангоуту	$C_m = \frac{C_b}{C_p}$	0.992	0.995	0.992
Коеф. повноти ватерлінії	$C_w = 0,878C_p + 0,1733$	0.903	0.910	0.910

Визначення відношення ширини до осадки:

У першому наближенні це відношення можна прийняти за прототипом

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{32,2}{12,2} = 2,639$$

Визначення відношення висоти борта до осадки:

$$\left(\frac{D}{T}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{T}}\right) = \frac{18,85}{12,2} = 1,545$$

Визначення відношення довжини до ширини:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \frac{217,3}{32,2} = 6,748$$

1.3.3 Розрахунок головних розмірів.

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho C_b L_1 B_1 T_1 \quad (3)$$

де $k_{вч} = 1,01$ — коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи ТЧ частини корпусу.

Використовуючи відносини головних розмірів запишемо рівняння у вигляді:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho C_b (L/B)_1 B_1^3 (T/B)_1 = 69428 \text{ т}$$

Таблиця 1.3

Ширина судна (м)	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_1 (B/d)_1}{k_{вч} \rho C_b (L/B)_1}}$	32,13
Довжина судна (м)	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	216,8
Осадка судна (м)	$d_1 = \left(\frac{d}{B}\right)_1 B_1$	12,175
Висота борту (м)	$D_1 = T_1 \left(\frac{D}{T}\right)_1$	18,81

1.2 Розрахунок потужності і вибір головного двигуна

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

$$\left. \begin{aligned} N_{e \text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^3}{C_e} = \frac{69428^{\frac{2}{3}} \cdot 15,0^3}{658} = 8658 \text{ кВт}; \\ N_{в \text{ оч}} &= \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_v^3}{C_v} = \frac{69428^{\frac{2}{3}} \cdot 15,5^3}{501} = 12547 \text{ кВт}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

На основі значень потужностей (4) підбираємо енергетичну установку. Енергетичною установкою є один дизельний двигун внутрішнього згоряння з наступними характеристиками, які представлені в табл. 1.7.

Таблиця 1.4 – Характеристики енергетичної установки судна-проекту в 1-му наближенні

№ п/п	Назва величини	Позначення	Значення
1	Марка двигуна	-	6RTA58T-B
2	Потужність двигуна експлуатаційна, кВт	$N_{ед}$	8658
3	Потужність двигуна на випробуваннях, кВт	$N_{вд}$	12420
4	Питома витрата палива, т/(кВт·год)	$q_{пал}$	$169 \cdot 10^{-6}$

За каталогом приймаємо головний двигун МОД марки “New Sulzer Diesel” 6RTA58T-B потужністю $N_{эу}^и = 12750$ кВт, $q_T = 170$ г/(кВт ч). $n = 105$ об/хв.

1.3 Визначення елементів проекту в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності.

Для визначення водотоннажності в другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, виражене в функції головних розмірів, в якому складові навантаження мас розраховуються за формулами, які дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю, $P_K =$

$q_K C_b^{\Pi} L B D$, а маса обладнання $P_o = q_o (L B D)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки і маси палива використовується значення потужності головного двигуна, прийняте за каталогом. Вирази для маси постачання P_{CH} , запасу водотоннажності $P_{ЗВ}$, значення яких в навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінними:

$$P_{CH} = a_c \Delta; P_{ЗВ} = a_{ЗВ} \Delta.$$

Для того щоб виключити число невідомих в рівнянні мас і привести його до такого виду, щоб як в першому наближенні його можна було б вирішити відносно Δ , використовуються наступні перетворення

$$P_K = q_K C_b^{\Pi} L B D = q_K C_b^{\Pi} L B D \frac{\Delta}{\rho_B k_B C_b L B d} = \Delta \left(q_K \frac{C_b^{\Pi} D}{C_b d \rho_B k_B} \right),$$

$$P_o = q_o (L B D)^{2/3} = \Delta^{\frac{2}{3}} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_K k_K C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right).$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \Delta_1 \left(1 - q_K \frac{C_b^{\Pi} D}{C_b d \rho_B k_B} - a_{Заб} - a_{ЗВ} \right) \\ = \Delta_1^{\frac{2}{3}} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_B k_B C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right) + q_{ey} N_{ey}^B + q_{\Pi} k_{мз} k_{вс} N_{ey}^e \frac{R}{v_e} + P_B \end{aligned}$$

Таблиця 1.5

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^{\Pi} = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,870
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^{\Pi} = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,870
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^{\Pi} \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,0955
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\bar{P}_{OB}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,118

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{дод}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966q_K \frac{D C_b^n}{d C_b} - a_{зв} - a_B$	0,848
	$m = q_{об} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	1,672
	$A = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^B + q_{\Pi} k_{мз} k_{дод} N_{ЕУ}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	57735
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

Використовуючи метод підбору параметрів в програмі Ехсел вирішимо рівняння мас та отримаємо водотоннажність проекту в 2-му наближенні:

$$\Delta_2 = 69780 \text{ т}$$

Звідки знайдемо маси розділів навантаження проекту:

Таблиця 1.6

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{\epsilon\gamma} \rho} \right)$	10500,3
Маса обладнання, т	$P_{об} = q_{об} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{\epsilon\gamma} \rho} \right)^{2/3}$	2674
Маса енергетичної установки, т	$P_{ЕУ} = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^e$	1020
Маса постачання, т	$P_{noc} = a_{noc} \Delta_2$	322

Маса запасу водотоннажності, т	$P_{ЗВ} = a_{ЗВ}\Delta_2$	-91
Маса палива, т	$P_{П} = q_{П}N_{ЕУ}^e \frac{R}{v_e} k_{мз} k_{доо}$	3417
Маса баласту, т	$P_B = a_B\Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	52000
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{ОБ} + P_{ЕУ} + P_{П} + P_3 + P_{ЗВ} + P_B + P_B$	69842

Перевірка : $\Delta = 69842 \text{ т} \approx \Delta_2$. Різниця - 0,08%

1.3.2 Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності і плавності хитавиці.

Головні параметри можна отримати за їх співвідношеннями. У другому наближенні необхідно уточнювати ці відношення, виходячи з вимог до різних якостей судна.

Визначення відношення висоти борта до осадки з умови вантажомісткості.

Відношення D/d суховантажних суден може бути виражено залежністю

$$D/d = (1,07\mu_{\Gamma}\eta_{\Gamma} + 0,16)k_e \quad (5)$$

$$\rightarrow D/d = (1,07\mu_{\Gamma}\eta_{\Gamma} + 0,16)k_e = (1,07 \cdot 1,4 \cdot 0,766 + 0,16) \cdot 1,182 = 1,545$$

Приймаємо $\left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1,545$.

Визначення відношення ширини до осадки.

Для уточнення відношення B/d , прийнятого в першому наближенні по прототипу, використовується умова початкової остійності

$$(h/B) = \psi_{\rho}(B/d) + \psi_c(d/B) - \zeta_g(H/d)(d/B) \quad (6)$$

З рівняння (6) можна отримати відношення

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{(\frac{h}{B})^2 + \frac{k_p C_w^2}{3 C_b} (\xi_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} (\frac{C_w}{C_b})^{0,5})}}{\frac{k_p C_w^2}{6 C_b}}$$

$$= \frac{0,075 + \sqrt{(0,075)^2 + \frac{1,03 \cdot 0,91^2}{3 \cdot 0,824} (0,584 \cdot 2,64 - \frac{1}{2} (\frac{0,91}{0,824})^{0,5})}}{\frac{1,03 \cdot 0,91^2}{6 \cdot 0,824}} = 2,64$$

Відношення (B/d) має відповідати ще одній умові, що визначає плавну хитавицю на хвилювання. При цьому значення (B/d) обмежується зверху.

Для цього можна скористатися капітанською формулою:

$$\left(\frac{h}{B}\right) < \frac{c_\tau^2 B_0}{\tau^2} = \frac{0,8^2 \cdot 32,13}{12^2} = 0,14$$

де $[\tau]$ – допустимий період бортової хитавиці, який відповідно до Правил Регістра повинен бути не менше 12 с;

$$(B/d)_{max} = \frac{0,69}{2} + \sqrt{\frac{0,69^2}{4} + 11,643} = 3,734 > 3,7$$

Приймаємо $(B/d) = 2,64$

Визначення відношення довжини до ширини

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{d}{B}\right)_2 \cdot k_{вч} \cdot \rho} = \sqrt{5,2^3 \cdot 0,824 \cdot 0,3789 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 6,74$$

1.3.3. Розрахунок головних розмірів.

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_{в} \rho_{в} C_b L_2 B_2 d_2 \quad (7)$$

де $k_{в} = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи ТЧ частини корпусу.

Використовуючи відносини головних розмірів запишемо рівняння у вигляді:

$$\Delta_2 = k_{в} \rho_{в} C_b (L/B)_2 B_2^3 (d/B)_2$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.7

Ширина судна, (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2(B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	31.8 Прийнято 32,2 м для класу Panamax
Довжина судна, (м)	$L_2 = \frac{\Delta}{B_2 d_2 C_b \rho k_{вч}}$	208,4
Осадка судна, (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	12,2
Висота борта, (м)	$H_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	18.85

Перевірка:

$$\Delta_2 = k_B \rho_B C_b L_2 B_2 d_2 = 1,01 \cdot 1,025 \cdot 0,824 \cdot 210,2 \cdot 32,2 \cdot 12,2 = 69837 \text{ т} \approx 69842 \text{ т}$$

На цьому визначення головних розмірів проєкту судна в другому наближенні закінчено.

1.4 Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості та початкової остійності

Для побудови теоретичного креслення і розрахунку елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf.

3D модель і теоретичне креслення будуємо в середовищах Maxsurf Modeler і AutoCAD за допомогою афінного перетворення поверхні корпусу прототипу.

Далі виконується експорт проєкцій з програми Maxsurf Stability Advanced у середовище AutoCAD, де воно редагується, та оформлюється у масштабі 1:200 відповідно до ЄСКД.

1.5 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ

Так як довжина судна більше 200 м та розташування машинного відділення кормове, загальна кількість водонепроникних перебірок становить 9 штук. Отже судно має 10 відсіків (форпик, ахтерпик, МВ та 7 трюмів).

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Фактична шпация:

$$a = 0,002L + 0,48 = 0,002 \cdot 208,4 + 0,48 = 0,897 \text{ м.}$$

Приймаємо $a = 0,845 \text{ м.}$

Шпация у форпіку $a_{\phi} = 0,577 \text{ м.}$ Ахтерпіку - $a_0 = 0,542 \text{ м.}$

Перехідна шпация між переділкою форпіку і відрізком $0,2L$ до корми від носового перпендикуляру – 677 мм. Положення перебірки форпіку визначається його довжиною $l_{\phi} = 0,05L$ від носового перпендикуляру.

$$l_{\phi} = 0,05 \times 208,4 = 10,42 \text{ м.}$$

Положення перебірки ахтерпіка визначається за умови забезпечення зручності обслуговування сальника дейдвудної труби – це становить приблизно $l_a = 0,06L$ м від кормового перпендикуляру,

$$l_a = 0,06 \times 208,4 = 12,5 \text{ м.}$$

Решта перебірок розставляється так, щоб довжини трюмів були приблизно рівними, за винятком носового. Довжина будь-якого відсіку не повинна бути більшою за 30 м. Приймаємо довжину 7-ти танків по 23 шпациї, що дорівнює 24 м. Довжина носового танка враховуючи перехідну шпацию відповідно 25,7 м

Висота другого дна визначається висотою вертикального кіля:

$$h_{BK} = \frac{L - 40}{0,57} + 40B + 3500 \frac{T}{L} = 1,798 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_{BK} = 2,0 \text{ м.}$

Висота вантажної частини складає 16,85 м. Довжина машинного відділення $l_{MB} = 24,2 \text{ м.}$

Таким чином поперечні перебірки поділяють корпус судна на такі відсіки:

Таблиця 1.8

Шпация	Відсік	Довжина
0 - 23	Ахтерпік	$L_{axT} = 23 \times 0,542 = 12,466$
23 - 51	МВ	$L_{mo} = 28 \times 0,83 = 23,24 \text{ м}$
51 - 79	Трюм №7	$L_{Tp7} = 28 \times 0,845 = 23,660$
79 - 107	Трюм №6	$L_{Tp6} = 28 \times 0,845 = 23,660$
107 - 135	Трюм №5	$L_{Tp5} = 28 \times 0,845 = 23,660$
135 - 163	Трюм №4	$L_{Tp4} = 28 \times 0,845 = 23,660$

163 - 191	Трюм №3	$L_{Tr3} = 28 \times 0,845 = 23,660$
191 - 219	Трюм №2	$L_{Tr2} = 28 \times 0,845 = 23,660$
219 - 257	Трюм №1	$L_{Tr1} = 38 \times 0,677 = 25,726$
257 - 274	Форпик	$L_{фор} = 18 \times 0,577 = 10,386$
Сума		208,4 м

Довжина вантажних люків розраховується з урахуванням відстані для проходу та фундаменту крану. Визначаємо довжину люків як:

$$L_{л2-7} = 18,6 \text{ м і } l_{л1} = 24,4 \text{ м.}$$

Ширина вантажного люка розраховується з умови розміщення контейнерів та приймається $b_{л} = 0,6B = 0,6 \cdot 32,2 = 19,32 \text{ м.}$

1.6 Розрахунок місткості

Таблиця місткості (loadcase) розраховується за програмою Maxsurf Stability Advanced. Заповнюємо таблицю з вхідними даними (Roomdefinition).

Таблиця 1.9

№ п/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм, м ³	Перехідний коефіцієнт k	Об'єм під груз, м ³	Плечі, м	
					x	z
1	Трюм №7	8080.873	86%	6949.551	-25.61	8.665
2	Трюм №6	9552.832	90%	8597.548	-49.29	8.975
3	Трюм №5	9549.301	90%	8594.370	-72.95	8.972
4	Трюм №4	9549.301	70%	6684.511	-96.61	7.423
5	Трюм №3	9549.705	72%	6875.788	-120.27	7.578
6	Трюм №2	9552.108	65%	6208.869	-143.93	7.037
7	Трюм №1	9413.509	65%	6118.780	-167.46	7.167
Σ		65247.628		50029.41		
1	Lightship	12954.300	100%	12954.30	19.22	0.5
2	Спорядження	315.900	100%	315.90	35.96	0.5
3	Запас палива	7336.606	31%	2274.347	62.96	0.5
Σ		20606.806		15544.54		

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.01	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.10 Розрахунок маси і координат центра ваги вантажу

№ п/п	Назва приміщення	Рвт, т	Координати, м		Моменти, т.м	
			x	z	M _x	M _z
1	Трюм №1	8033,308	79,53	10,727	638889	86173,3
2	Трюм №2	9018,531	51,789	10,021	467060,7	90374,7
3	Трюм №3	8944,136	22,953	9,938	205294,7	88886,8
4	Трюм №4	,828905	-5,846	9,899	-52063,4	88158,7
5	Трюм №5	7889,266	-33,052	9,868	-260756	77851,2
6	Трюм №6	7363,746	-58,318	10,268	-429439	75610,9
7	Люк №1	497,097	78,56	21,16	39051,94	10518,57
8	Люк №2	501,2743	50,91	20,14	25519,87	10095,66
9	Люк №3	501,2743	22,82	20,02	11439,08	10035,51
10	Люк №4	501,2743	-5,98	19,89	-2997,62	9970,346
11	Люк №5	434,4377	-33,09	19,77	-14375,5	8588,834
12	Люк №6	434,4377	-58,56	19,76	-25440,7	8584,489
Сума		Σ	$x_g = \frac{\Sigma 1}{\Sigma} = 11,34$	$z_g = \frac{\Sigma 2}{\Sigma} = 10,65$	Σ ₁	Σ ₂
		53024,6			602183,1	564849,2

Таблиця 1.11 Розрахунок маси і координат центра ваги палива

№ п/п	Назва приміщення	Р _{вт} , т	Координати, м		Моменти, т.м	
			x	z	M _x	M _z
1	Цистерна №1	920	-80,32	1,09	-73894	920
2	Цистерна №2	960	-56,38	0,939	-54125	901
3	Цистерна №3	986	-33,05	0,910	-32587	897
4	Цистерна №4	551	-5,85	0,910	-3223	501
Сума		Σ	$x_g = \frac{\Sigma 1}{\Sigma} = -47,9$	$z_g = \frac{\Sigma 2}{\Sigma} = 0,94$	Σ ₁	Σ ₂
		3417			-136830	3219

1.7 Розрахунок завантаження, визначення координат ЦВ і удиферентовка проекту

Положення ЦМ визначається спочатку розрахунком з використанням епюри ємності і навантаженням мас. При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком із судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за залежностями: $X_{gi} = \frac{\bar{X}_{gi}}{\bar{L}} L$; $Z_{gi} = \frac{\bar{Z}_{gi}}{\bar{H}} H$

Таблиця 1.12

№	Назва	Маса Р, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{L}} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{\bar{H}} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Маса корпусу, т	10500	-3,63	10,09	-38115	105945
2	Маса обладнання, т	2674	-30,98	17,21	-82841	46020
3	Маса енергетичної установки, т	1020	-82,48	9,65	-84130	9843
	Водотоннажність порожнєм (Σпор.)	14194	-14,45	11,4	-205086	161808
4	Вантаж	52000	18,09	10,22	940680	531440
5	Постачання	322	-64,2	20,46	-20672	6588
6	Паливо	3417	-74,04	0,94	-136830	3219
7	Запас водотоннажності, т	-90	0	12,2	0	1098
	Дедвейт (Σдед.)	55649		9,746	506018	542345

$Z_c = Z_g = 8,277$ м. Таким чином судно удиферентовано.

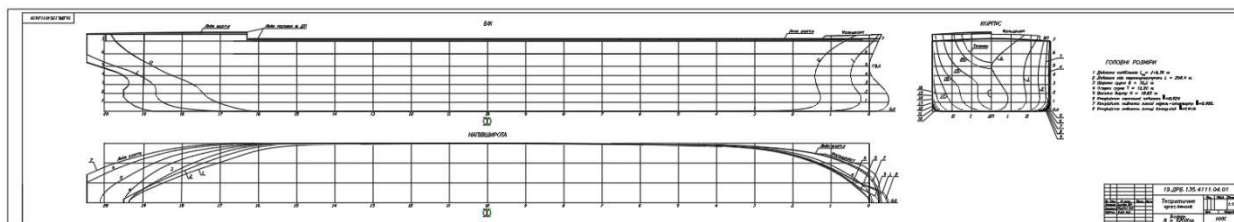


Рис. 1.1 Теоретичне креслення

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок елементів корпусу судна за Правилами класифікаційного товариства України	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Дзембак В.Р.							
Консульт.	Пашенко Ю.М.							
Керівник	Соков В.М.					НУК		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу навалочного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» КМ★ А2.

КМ★ – самохідне судно, яке повністю (або його корпус, чи механічна установка, механізми, обладнання) побудовані та/або виготовленні за правилами іншої признаної Регістром класифікаційної організації та освідковані цією організацією при їх побудові та виготовленні.

А2 – об'єм автоматизації дозволяє експлуатувати механічну установку одним оператором з ЦПУ без постійної присутності обслуговуючого персоналу у машинному відділенні.

2.1 Перевірка головних розмірів судна

Головні розміри судна

Таблиця 2.1

№	Назва величини	Позначення величини	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	208,4
2	Ширина судна на міделі	B	м	32,2
3	Висота борту	D	м	18,85
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	12,20
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_v	-	0,824
6	Швидкість судна	V_C	вуз	15

Необхідно перевірити, щоб судно, яке проектується, знаходилося в діапазоні суден, які розглядаються Правилами Регістра:

відношення довжини до висоти борту: $L/D \leq 18, 208,4/18,85 = 11,06 \leq 18;$

відношення ширини судна до висоти борту: $B/D \leq 2,5$, $32,2/18,85 = 1,71 \leq 2,5$;

відношення осадки судна до висоти борту: $0,55 \leq d/D \leq 18.85$;
 $0,55 \leq 12,2/18,85 = 0,647 \leq 0,8$;

коефіцієнт загальної повноти $C_g \geq 0,6$; $0,824 > 0,6$.

2.2 Архитектурно-конструктивний тип судна

Судно однопалубне, з кормовим розташуванням машинного відділення та жилої надбудови, з подвійним дном, з подвійними бортами, з бортовими підпалубними та скуловими цистернами. Має 11 поперечних перебірок. З транцевою кормою, бульбовидною носовою кінцівкою, з носовим баком.

Подвійне дно набране за поздовжньою системою. Кут нахилу стінок бортових цистерн до ОП 45° .

Палуба та ділянки бортів в районі бортових підпалубних цистерн та нахиленні стінки підпалубних цистерн набрані за поздовжньою системою. Кут нахилу стінок підпалубних цистерн до ОП 30° .

2.3 Вибір системи набору перекрить корпусу судна

Система набору корпусу судна змішана, тобто днищові і палубні перекриття набирається за поздовжньою системою набору, а бортові перекриття за поперечною. Кінцеві частини корпусу судна набираються за поперечною системою набору, яка дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря.

2.4 Вибір марки сталі для корпусу судна

Всі листові елементи корпусу судна виготовляються зі сталі 10ХСНД із межею плинності $R_{EH}=390$ МПа. Деталі профільного прокату виготовленні зі сталі 10Г2С1Д.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.2 Характеристики сталей

№	Марка сталі	R_{EH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних властивостей, з	Нижня межа температури, °С.	Відносне подовження, %.
1	10ХСНД	390	0,68	-40	16
2	10Г2С1Д	355	0,72	-60	16

За розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взяті нормативні межі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями:

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 346, \quad \tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n = 0,57 \cdot 346 = 197, \text{ МПа.}$$

2.5 Вибір шпациї

Нормальна шпация a , м, в середній частині судна визначається за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 \text{ м.}$$

де $L = 207,7$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 208,4 + 0,48 = 0,894 \text{ м.}$$

Приймаємо: $a_0 = 845$ мм - поперечна шпация;

$a_0 = 900$ мм - поздовжня шпация.

2.6. Креслення обводів мідель-шпангоуту

Підйому лінії днища немає.

Радіус закруглення скули:

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} = 2,01 \text{ м,}$$

де $B = 32,2$ – ширина судна, м.

Приймаю: $R = 2$ м

Висота другого дна розраховується за формулою:

$$h_{II} = \frac{L-40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{208,4-40}{570} + 0,04 \cdot 32,2 + 3,5 \cdot \frac{12,2}{208,4} =$$

1,828 м.

Приймаємо: $h_{II} = 2$ м.

Ширина горизонтального кіля розраховується за формулою:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L, \text{ мм, не більше 2000 мм.}$$

Маємо:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 208,4 = 1892, \text{ мм.}$$

Приймаю: $b_k = 2,0 \text{ м.}$

2.6 Врахування зносу та корозії

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:

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

де S' – товщина листа, яка відповідає середині строку служби конструкції, мм; ΔS – запас на знос та корозію, мм; T – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу та корозії (табл. № 2.3.); $T = 24$ – період служби конструкції, роки.

Елементи конструкції корпусу	T , мм/рік	ΔS , мм
Настил верхньої палуби	0,15	1,80
Зовнішня обшивка борту	0,19	2,28
Зовнішня обшивка днища	0,20	2,40
Горизонтальний кіль	0,20	2,40
Настил другого дна	0,30	3,60
Настил скулової цистерни	0,30	3,60
Обшивка поперечних перебірок	0,18	2,16
Поздовжні підпалубні балки	0,15	1,80
Поздовжні підпалубні балки в баластному відсіку	0,20	2,40
Карлінгс	0,13	1,56
Рамний бімс	0,13	1,56

Елементи конструкції корпусу	T, мм/рік	ΔS , мм
Основні, рамні шпангоути	0,13	1,56
Вертикальний кіль	0,20	2,40
Флори	0,20	2,40
Поздовжні балки другого дна, днища	0,20	2,40
Днищеві стрингери	0,20	2,40

2.7 Визначення згинальних моментів

Розрахункова висота хвилі визначається за формулою:

$$C_W = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \text{ м,}$$

де $L = 207,7$ м - довжина судна між перпендикулярами.

$$C_W = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 208,4}{100} \right)^{3/2} = 9,86 \text{ м,}$$

Згинальний момент на тихій воді визначається за формулою:

$$M_{SW} = \pm 76 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ кН}\cdot\text{м,}$$

де C_W – розрахункова висота хвилі, м; $B=32,2$ – ширина судна, м;

$L=208,4$ м - довжина судна між перпендикулярами; $C_b=0,824$ – коефіцієнт загальної повноти.

$$\begin{aligned} M_{SW} &= \pm 76 C_W B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} \\ &= 76 \cdot 9,86 \cdot 32,2 \cdot 208,4 \cdot (0,824 + 0,7) 10^{-3} = 1,51 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_W &= 190 C_W B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9,86 \cdot 32,2 \cdot 208,4 \cdot 0,82 \cdot 10^{-3} \\ &= 2,05 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

Хвильовий згинальний момент, кН·м, який викликає прогин корпусу судна, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} M_W &= -110 C_W B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = -110 \cdot 9,86 \cdot 32,2 \cdot 208,4 \cdot \\ &\quad (0,824 + 0,7) 10^{-3} = -2,19 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Сумарний згинальний момент:

- При прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_W + M_{SW}| = |-2,19 \cdot 10^6 - 1,51 \cdot 10^6| = -3,7 \cdot 10^6$$

- При прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_W + M_{SW}| = |-2,19 \cdot 10^6 - 1,51 \cdot 10^6| = -3,7 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

- При перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_W + M_{SW}| = |2,05 \cdot 10^6 + 1,51 \cdot 10^6| = 3,56 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

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

$$W_d = W_b = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma} \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3,$$

де $\sigma=175/\eta$ – допустимі напруження, МПа; η – коефіцієнт використання механічних властивостей.

Визначимо допустимі напруження:

$$\sigma_{кор} = \frac{175}{0,68} = 257,4 \text{ МПа}, \quad W_{кор} = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_{кор}} \cdot 10^{-3} = \frac{3,7 \cdot 10^6}{257,4} \cdot 10^{-3} = 14,38, \text{ м}^3$$

Момент опору корпусу судна:

$$W_{\min} = C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta = 9,86 \cdot 32,2 \cdot 208,4^2 (0,824 - 0,7) \cdot 0,68 = 13,6 \text{ м}^3$$

$$e = 0,4 \cdot D' = 0,4 \cdot 20,05 = 7,54 \text{ м},$$

де $D'=D+h_{ком}=18,85+1,2=20,05$ – висота борту судна-проекта з урахуванням висоти комінгса люка.

Максимальні діючі напруги в днищі і на палубі розрахуємо за формулою:

$$I_0 = W_d \cdot (D' - e) = 14,38 \cdot (20,05 - 7,54) = 179,9 \text{ м}^4,$$

$$\text{-для днища: } \sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3,56 \cdot 10^6 \cdot 7,54}{179,9} \cdot 10^{-3} = 149,2 \text{ МПа},$$

-для верхньої палуби:

$$\sigma_{ВП} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - Z_{дн})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3,7 \cdot 10^6 \cdot (18,85 - 7,48)}{179,9} \cdot 10^{-3} = 233,8 \text{ МПа}$$

При прогині $\sigma = 233,8$ МПа. При перегині $\sigma = 149,2$ МПа.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

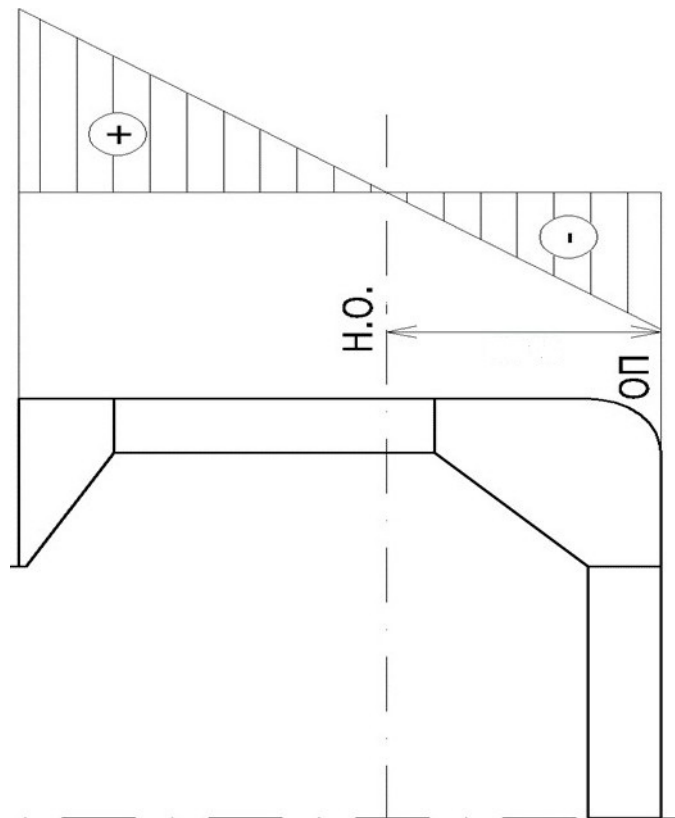


Рисунок 2.1 – Схема напружень

2.8 Визначення розрахункових навантажень

2.8.1. Зовнішні навантаження на корпус судна.

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i, \text{ кПа},$$

де $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; Z_i – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії, м.

при $Z_i = d = 12,2 \text{ м}$. $P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 12,2 = 122,67 \text{ кПа}$.

Хвильовий тиск для точок прикладання навантаження на рівні ГВЛ

$$P_{w0} = \rho \cdot g \cdot \frac{C_w}{2} \cdot a_v \cdot a_x, \text{ кПа}.$$

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

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

де $V_0=15$ – специфікаційна швидкість судна, вузли; $k_x=0,8$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя; $x_l=0,3L=62,52$ – відстань розглядуваного поперечного перерізу від кормового перпендикуляра, м. Маємо:

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_l}{L} \right) = 0,5 \left(1 - 2 \frac{62,52}{208,4} \right) = 0,2 \text{ Приймаю } a_x=0,267.$$

$$a_v = \frac{0,8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15,0 \left(\frac{208,4}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{208,4}} + 1,5 = 2,006$$

$$a_v \cdot a_x = 2,006 \cdot 0,267 = 0,535$$

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

$$P_{w0} = \rho \cdot g \cdot \frac{C_w}{2} \cdot a_v \cdot a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{9,86}{2} \cdot 0,6 = 29,74 \text{ кПа.}$$

Для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} \text{ кПа.}$$

При $Z_i = d = 12,2$ м: $P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 29,74 - 1,5 \cdot 9,86 \cdot \frac{12,2}{12,2} = 14,95 \text{ кПа.}$

Для точок прикладання навантаження вище ватерлінії

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i \text{ кПа.}$$

При $Z_i = D - d = 18,85 - 12,2 = 6,65$ м:

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i = 29,74 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 6,65 = 16,42 \text{ кПа.}$$

$$P_w \geq P_{\min},$$

$$P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 = 11,25 \text{ кПа.}$$

Тиск на днищеву обшивку судна визначимо за формулою:

$$P = P_{st} + P_w = 122,67 + 16,42 = 139,1 \text{ кПа.}$$

$$P_w = 16,42 \text{ кПа, } P_{w0} = 29,74 \text{ кПа, } P = 139,1 \text{ кПа.}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

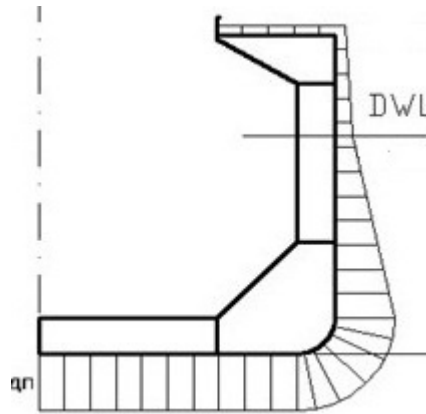


Рисунок 4.2 – Схема навантажень, діючих на корпус судна

2.8.2 Розрахунковий тиск від вантажу

Розрахункове прискорення у вертикальному напрямі визначимо за формулою:

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{\epsilon z}^2 + 0,4 \cdot a_{az}^2}, \text{ м/с}^2,$$

де a_{cz} – проекція прискорення центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці, м/с^2 ; $a_{kz}, a_{\epsilon z}$ – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кильової і бортової хитавиці, м/с^2 .

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \left(\frac{100}{208,4} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,53 \text{ м/с}^2,$$

T_k – періоди кильової хитавиці, с:

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1+0,4\frac{V_0}{L}\left(\frac{L}{10^3}+0,4\right)} = \frac{0,8\sqrt{208,4}}{1+0,4\frac{15}{208,4}\left(\frac{208,4}{10^3}+0,4\right)} = 11,40 \text{ с},$$

де $V_0 = 15$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$$\Psi = \frac{0,23}{1+L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1+208,4 \cdot 10^{-2}} = 0,074 \text{ рад} - \text{розрахунковий кут диференту};$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \Psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{11,40} \right)^2 \cdot 0,074 \cdot 9,485 = 0,212 \text{ м/с}^2,$$

$x_0 = 9,485$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна;

$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 32,2 = 2,25$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна

T_b – періоди бортової хитавиці:

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$T_6 = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 32,2}{\sqrt{2,25}} = 17,17 \text{ с}$$

Розрахунковий тиск на настил другого дна від вантажу

Розглянемо т. №1

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 208,4 \cdot 10^{-2}} = 0,29 \text{ рад} - \text{розрахунковий кут крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,375 \text{ м/с}^2$$

$y_0=9,24$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

$$k_B = \sin^2 \alpha \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T}}{2} \right) + \cos^2 \alpha = \sin^2 0 \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) + \cos^2 0 = 1$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\varphi_{B.T} = 30^\circ = 0,524 \text{ рад}$$

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_e = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot (15,5) = 165,13 \text{ кПа.}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{вин} = 7,5 \cdot h_{П.Т}, \text{ кПа.}$$

Де $h_{П.Т}=D-h_{II}+\Delta z=18,85-2+1,5=18,35$ м – відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{вин} = 7,5 \cdot 18,35 = 127,5 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (15,5 + 1,5) = 128,20 \text{ кПа,}$$

де $z_i=18,85-2=16,85$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до другого дна.

Тиск аварійного затоплювання:

$$P_{аз} = 10,5(d - h) = 10,5(12,2 - 2) = 105 \text{ кПа}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Приймаю розрахунковий тиск на друге дно $P=128,20$ кПа

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на похилий лист скулової цистерни в т. №1

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=9,24$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

$$k_B = \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T}}{2} \right) + \cos^2 \alpha = \sin^2 45^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) + \cos^2 45^\circ = 0,667$$

$$\alpha = 45^\circ; \quad \varphi_{B.T} = 30^\circ$$

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\theta} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot (17,5 - 2) = 110,14 \text{ кПа.}$$

Приймаю розрахунковий тиск на похилий лист скулової цистерни в т. №1
 $P=110,14$ кПа

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на похилий лист скулової цистерни в т. №2

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 208,4 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

$$k_B = \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T}}{2} \right) + \cos^2 \alpha = \sin^2 45^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) + \cos^2 45^\circ = 0,667$$

$$\alpha = 45^\circ; \quad \varphi_{B.T} = 30^\circ$$

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$P_e = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,57}{9,81} \right) \cdot 11,34 = 80,65 \text{ кПа.}$$

де $z_i=11,34$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа бортової цистерни з шпангоутом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на похилий лист скулової цистерни в т. № 2 $P=80,65$ кПа

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. № 2

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

$$k_B = \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T}}{2} \right) + \cos^2 \alpha = \sin^2 90^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) + \cos^2 90^\circ = 0,333$$

$$\alpha = 90^\circ; \quad \varphi_{B.T} = 30^\circ$$

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_e = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot 2,6 = 134,51 \text{ кПа.}$$

де $z_i=2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа бортової цистерни з шпангоутом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. № 2 $P=134,51$ кПа

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. №3

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$k_B = \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T}}{2} \right) + \cos^2 \alpha = \sin^2 90^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) + \cos^2 90^\circ = 0,333$$

$$\alpha = 90^\circ; \quad \varphi_{B.T} = 30^\circ$$

$$P_e = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot 2,6 = 9,2 \text{ кПа},$$

де $z_i=2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з бортом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. №3 $P=9,2$ кПа

Знайдемо випробувальний тиск на похилу стінку підпалубної цистерни в т. №3: $P_{вин} = 7,5 \cdot h_{п.т.}$, кПа.

Де $h_{п.т.}=z_i+\Delta z=2,6+1,5=1,1$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з бортом до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{вин} = 7,5 \cdot 1,1 = 8,25 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (2,6 + 1,5) = 30,91 \text{ кПа},$$

де $z_i=2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни до борту.

Приймаю розрахунковий тиск на обшивку похилої стінки підпалубної цистерни в т. № 3 $P=30,91$ кПа

Знайдемо випробувальний тиск на похилу стінку підпалубної цистерни в т. №4: $P_{вин} = 7,5 \cdot h_{п.т.}$, кПа.

Де $h_{п.т.}=z_i+\Delta z=0,2+1,5=1,7$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з карлінгсом до верху повітряної трубки.

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

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Маємо: $P_{вин} = 7,5 \cdot 1,7 = 12,75$ кПа.

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (0,2 + 1,5) = 12,82 \text{ кПа},$$

де $z_i = 0,2$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахилого листа підпалубної цистерни з карлінгсом.

Приймаю розрахунковий тиск на обшивку похилої стінки підпалубної цистерни в т. № 4 $P = 12,82$ кПа

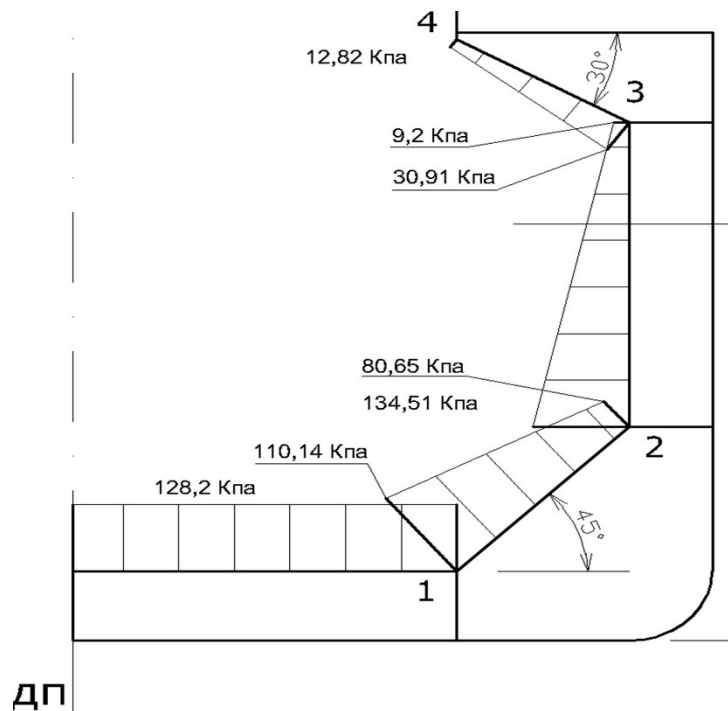


Рисунок 4.3 – Схема навантажень, що діють на корпус судна з боку вантажу

2.9 Визначення товщин листових конструкцій

2.9.1.Зовнішня обшивка днища

Мінімальна товщина зовнішньої обшивки дна та бортів:

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{(135,61 / 0,6 \cdot 346)} + 2,28 = 13,8 \text{ мм}$$

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 207,7) \cdot \sqrt{0,68} = 11,4, \text{ мм}$$

Перевіряємо на стійкість пластини днищевої обшивки. Пластина є стійкою, якщо:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр},$$

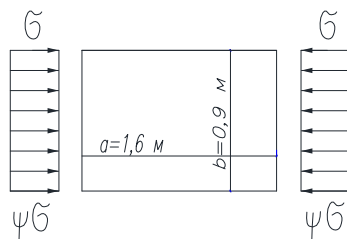
					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$ – для днищової обшивки.

$$\sigma_{\partial n} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{\partial n}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3,56 \cdot 10^6 \cdot 7,48}{161,34} \cdot 10^{-3} = 165,04 \text{ МПа},$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 166,04 \text{ МПа}$, так як $\frac{\sigma_{кр}}{R_{eH}} = 165,04/390 = 0,423 < 0,5$

то Ейлерові напруження днищової пластини:



$$\sigma_e = \sigma_{кр} = 166,04 \text{ МПа}, \quad \gamma = \frac{a}{b} = \frac{1,6}{0,9} = 1,78 \geq 1, \quad n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4,$$

де $\psi=1$ – коефіцієнт, який враховує ступінь нерівномірності стиску кромek пластин.

Виходячи з умови стійкості, товщина пластини днищової обшивки повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{165,9}{0,1854 \cdot 4}} + 2,4 = 15,9 \text{ мм},$$

де $\Delta S = 2,40$ – запас на знос та корозію, мм.

Приймаю товщину днищової пластини: $S_{\partial n} = 18 \text{ мм}$

Товщина горизонтального кіля: $S_{ГК} = S_{\partial n} + 2 = 18 + 2 = 20 \text{ мм}$.

2.9.2. Настил верхньої палуби

Перевіряємо на стійкість пластини верхньої палуби. Пластина є стійкою, якщо $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр}$,

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$
– для верхньої палуби:

$$\sigma_{вп} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - Z_{\partial n})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4339056 \cdot (18,85 - 8,02)}{202,83} \cdot 10^{-3} = 231,7 \text{ МПа}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1 \cdot 231,7 + 1 = 232,7$, МПа, так як

$$\frac{\sigma_{кр}}{R_{eH}} = \frac{232,7}{390} = 0,60 > 0,5,$$

то Ейлерові напруження палубної пластини:

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{кр}} = \frac{0,25 \cdot 390^2}{390 - 232,7} = 241,7 \text{ МПа},$$

Виходячи з умови стійкості, товщина пластини верхньої палуби повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{241,6}{0,1854 \cdot 4}} + 1,80 = 18,04 \text{ мм},$$

де $\Delta S = 1,80$ – запас на знос та корозію, мм.

Приймаю товщину палубної пластини, з урахуванням віддалення верхньої палуби від нейтральної вісі: $S_{en}=25$ мм при $S_{min}=9,37$ мм.

2.9.3 Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Мінімальна товщина листів обшивки бортової скулової цистерни:

$$S_{min} = (7 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (7 + 0,035 \cdot 218,3) \cdot \sqrt{0,68} = 12,07 \text{ мм}$$

Товщина надскулового пояса:

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \text{ мм}$$

де $m=22,4$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_y=1$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$a=0,9$ м – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$P=137,9$ кПа – розрахунковий тиск на обшивку (настил);

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа} - \text{нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями;

$\Delta S = 2,28 \text{ мм}$ – запас на знос та корозію.

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 22,4 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{137,9}{1 \cdot 345,6}} + 2,28 = 15,0 \text{ мм.}$$

Приймаю товщину надскулового пояса $S = 18 \text{ мм}$

Товщина зовнішньої обшивки борту на рівні ВВЛ :

$m = 22,4$ – коефіцієнт згинального моменту

$k_y = 0,4$ – коефіцієнт допустимих напружень

$a = 0,9 \text{ м}$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$P = P_{w \text{ ВВЛ}} = 30,2 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск на обшивку (настил),

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа} - \text{нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями;

$\Delta S = 2,28 \text{ мм}$ – запас на знос та корозію.

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 22,4 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{30,2}{0,4 \cdot 345,6}} + 2,28 = 11,7 \text{ мм}$$

Мінімальна товщина зовнішньої обшивки борту між скуловими та підпалубними цистернами:

$$S_{\min} = \sqrt{L} = \sqrt{218,3} = 14,77, \text{ мм}$$

Приймаю товщину зовнішньої обшивки на рівні ВВЛ $S = 20 \text{ мм}$

2.9.4 Товщина ширстречного поясу та верхньої палуби.

$m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту

$k_y = 0,9$ – коефіцієнт допустимих напружень

$a = 0,9 \text{ м}$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$P = P_w = 16,88 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск на обшивку (настил),

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа} \quad - \quad \text{нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями;

$\Delta S = 1,8 \text{ мм}$ – запас на знос та корозію.

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{16,88}{0,9 \cdot 345,6}} + 1,8 = 5,11 \text{ мм}$$

Мінімальна товщина ширстречного пояса та верхньої палуби:

$$S_{\min} = 0,04L + 5 = 12 \text{ мм}$$

Приймаю товщину ширстречного пояса та верхньої палуби $S = 25 \text{ мм}$

2.9.5 Проектування обшивки похилої стінки підпалубної цистерни

Товщина обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни:

$m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_y = 0,8$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$a = 0,9 \text{ м}$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$P = 34,7 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск на похилий лист підпалубної цистерни посередині прольоту;

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа} \quad - \quad \text{нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями;

$\Delta S = 1,8 \text{ мм}$ – запас на знос та корозію.

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{34,7}{0,9 \cdot 345,6}} + 1,8 = 6,5 \text{ мм}$$

Мінімальна товщина похилої стінки підпалубної цистерни:

$$S_{\min} = 10 + 0,025 \cdot L = 10 + 0,025 \cdot 218,3 = 15,46 \text{ мм}$$

Приймаю товщину обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни $S = 25 \text{ мм}$

2.9.6 Проектування обшивки похилої стінки бортової цистерни.

Товщина обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни:

$m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_y = 0,8$ – коефіцієнт допустимих напружень;

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$a=0,9$ м – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$P = 157,5$ кПа – розрахунковий тиск на похилий лист скулової цистерни посередині прольоту;

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа} - \text{нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями;

$\Delta S=1,8$ мм – запас на знос та корозію.

$$S = m \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{157,5}{0,9 \cdot 345,6}} + 1,8 = 11,9 \text{ мм}$$

Мінімальна товщина ширстречного пояса та верхньої палуби:

$$S_{\min} = (7 + 0,035 \cdot L) \sqrt{\eta} = (7 + 0,035 \cdot 218,3) \sqrt{0,68} = 12,07 \text{ мм}$$

Приймаю товщину обшивки нахиленої стінки скулової цистерни $S = 14$ мм

2.9.7 Настил другого дна.

Найбільше навантаження що діє на друге дно $P = 128,2$ кПа.

Товщина настилу другого дна за умовою міцності визначається за формулою:

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

де $m=15,8$, $k_y=0,8$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил; $a=0,9$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м; P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа; $k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$; $a=0,9$, $b=2,4$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м; y_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; $\Delta S=3,6$ – запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,9}{2,4} = 1,01, \text{ Приймаємо } k = 1,0.$$

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа.}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{271,2}{0,8 \cdot 345,6}} + 3,60 = 17,68 \text{ мм.}$$

Перевіряємо на стійкість пластини настилу другого дна. Пластина є стійкою, якщо $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр}$,

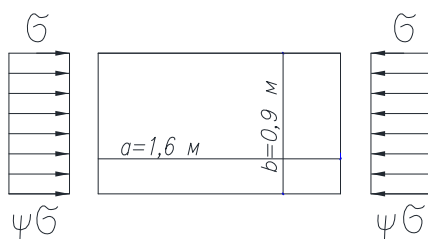
де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$ – для обшивки другого дна:

$$\sigma_{II \text{ дн}} = \frac{M_{\Sigma^2} \cdot Z_{\text{дн}}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4170787 \cdot (8,02 - 1,8)}{202,83} \cdot 10^{-3} = 127,9 \text{ МПа,}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1 \cdot 127,9 + 1 = 128,9 \text{ МПа,}$ так як

$$\frac{\sigma_{кр}}{R_{eH}} = \frac{128,9}{390} = 0,33 < 0,5, \text{ то Ейлерові напруження днищової пластини:}$$

$$\sigma_e = \sigma_{кр} = 128,9 \text{ МПа,}$$



$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{1,6}{0,9} = 1,78 \geq 1 \text{ МПа, } n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4,$$

де $n = 1$ – коефіцієнт, який враховує ступінь нерівномірності стиску кромek пластин.

Виходячи з умови стійкості, товщина пластини II дна повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр}$$

де $\Delta S = 3,60$ – запас на знос та корозію, мм.

$$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 218,3) \cdot \sqrt{0,68} = 10,42 \text{ мм}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Приймаю товщину пластини другого дна: $S_{\text{дон}}=20$ мм при $S_{\text{min}}=10,42$ мм.

2.10 Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру

2.10.1. Днищове перекриття.

Висота другого дна $h=2,0$ м. Коридор систем розташуємо збоку, ближче до правого борту. Це пов'язано з тим, що системи відкриття/закриття люків розташовані ближче до правого борту.

Визначити товщину суцільних флорів можна за формулою:

$$S = \alpha \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S, \text{ мм},$$

де $b=0,023L+5,8>6,5$; $k=k_1 \cdot k_2$; $a=0,9$ – відстань (шпація) між ребрами жорсткості, м; $\Delta S=2,4$ – запас на знос та корозію, мм; k_1 та k_2 визначаються за таблицями [6].

$$\text{Маємо: } \alpha = 0,023 \cdot L + 5,8 = 0,023 \cdot 218,3 + 5,8 = 10,8$$

$$k = k_1 \cdot k_2 = 1,20 \cdot 0,88 = 1,056$$

$$S = \alpha \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 10,8 \cdot 0,9 \cdot 1,056 \cdot \sqrt{0,68} + 2,4 = 10,86 \text{ мм}$$

$$S_{\text{min}} = 0,035L + 6 = 0,035 \cdot 218,3 + 6 = 13,6 \text{ мм}$$

Приймаю товщину суцільних флорів: $S_{\text{фл}}=14$ мм при $S_{\text{min}}=13,6$ мм.

Товщина водонепроникних флорів визначається за формулою:

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

де $m=15,8$, $k_y=0,85$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил; $a=0,9$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м; P – розрахунковий тиск на водонепроникний флор, кПа; $k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$; $a=0,9$, $b=1,6$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м; y_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; $\Delta S=2,4$ – запас на знос та корозію, мм.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Маємо: $k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,9}{1,6} = 0,92$, Приймаю $k = 0,92$.

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий тиск на водонепроникний флор:

$$P = \rho_B \cdot g \cdot Z_i + P_\kappa, \text{ кПа,}$$

де $P_\kappa = 15$ кПа, $c = 1,025$ т/м³ – щільність морської води; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; Z_i – відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти флора, м.

при $Z_i = D - h_{\text{вк}}/2 = 18,85 - 1,8/2 = 17,95$ м.

$$P = \rho_B \cdot g \cdot Z_i + P_\kappa = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 17,95 + 15 = 195,49 \text{ кПа.}$$

$$S = t \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{\frac{195,49}{0,85 \cdot 326}} + 2,4 = 13,39 \text{ мм.}$$

Приймаю товщину водонепроникного флору: $S_{\text{фл}} = 14$ мм, тобто дорівнює товщині суцільного флора $S_{\text{фл}} = 14$ мм.

Товщину днищевих стрингерів приймаємо рівною товщині суцільних флорів: $S_{\text{дн.стр.}} = 14$ мм.

Товщину вертикального кіля можна визначити за формулою:

$$S = \alpha_k \cdot h \cdot \frac{h}{h_\phi} \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S, \text{ мм,}$$

де $b_k = 0,03L + 8,3 < 11,2$; $k = k_1 k_2$; $h_\phi = 1,8$ м – фактична висота вертикального кіля; $h = 1,79$ м – розрахована висота вертикального кіля; $\Delta S = 2,4$ мм – запас на знос та корозію. Маємо: $\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 = 0,03 \cdot 218,3 + 8,3 = 14,85$

$$b_k = 0,03L + 8,3 < 11,2$$

Приймаю $\alpha_k = 11,2$

$$S = \alpha_k \cdot h \cdot \frac{h}{h_\phi} \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 11,2 \cdot 1,79 \cdot \frac{1,79}{1,8} \cdot \sqrt{0,68} + 2,4 = 18,84 \text{ мм}$$

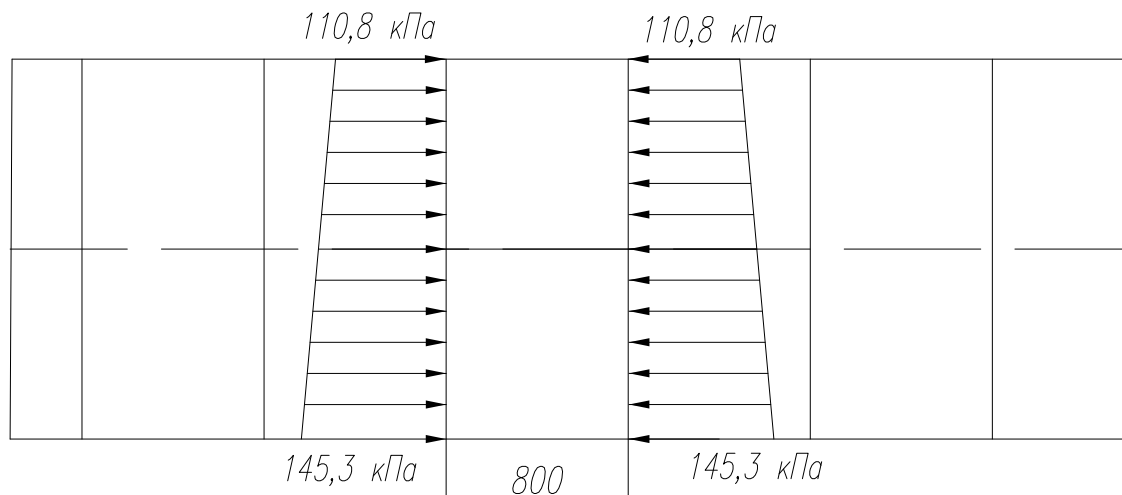
Приймаю товщину вертикального кіля: $S_{\text{вк}} = 19$ мм.

Перевіряємо на стійкість вертикальний кіль.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$P = 0,75 \cdot \rho_B \cdot g \cdot (Z_i + \Delta Z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,95 + 1,5) = 124,06 \text{ кПа}$$

Схема вертикального кіля



Вертикальний кіль є стійким, якщо:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр},$$

де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$ – для днища.

– для днища:

$$\sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma^2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4170787 \cdot 8,02}{202,83} \cdot 10^{-3} = 164,9 \text{ МПа},$$

– для обшивки другого дна:

$$\sigma_{пдн} = \frac{M_{\Sigma^2} \cdot Z_{пдн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4170787 \cdot (8,02 - 1,8)}{202,83} \cdot 10^{-3} = 127,9 \text{ МПа},$$

$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{800}{1800} = 0,44 < 1, \quad \psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}} = \frac{127,9}{164,9} = 0,78 \text{ – коефіцієнт}$$

нерівномірності стискання кромки пластини.

$$n = \varepsilon \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2 \frac{2,1}{\psi + 1,1} = 1,30 \left(0,44 + \frac{1}{0,44} \right)^2 \frac{2,1}{0,78 + 1,1} = 10,69$$

$$S' = S - \Delta S = 19 - 2,4 = 16,6 \text{ мм}.$$

Ейлерові напруження визначимо за формулою:

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot n \cdot \left(\frac{S'}{b} \right)^2 = 0,1854 \cdot 10,8 \cdot \left(\frac{16,6}{1,8} \right)^2 = 168,6 \text{ МПа},$$

Так як $\sigma_e = 168,6 \text{ МПа} < 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 390 = 195 \text{ МПа}$, тому

$$\sigma_{кр} = \sigma_e = 168,6 \text{ МПа}$$

$\sigma_{кр} = 168,6 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 164,9 \text{ МПа}$, тому робимо висновок, що вертикальний кінь буде стійким.

2.10.2 Перевірка на стійкість стрингерів.

Схема і стискаючі напруження для днищевих стрингерів ті ж самі, що і для вертикального кіля.

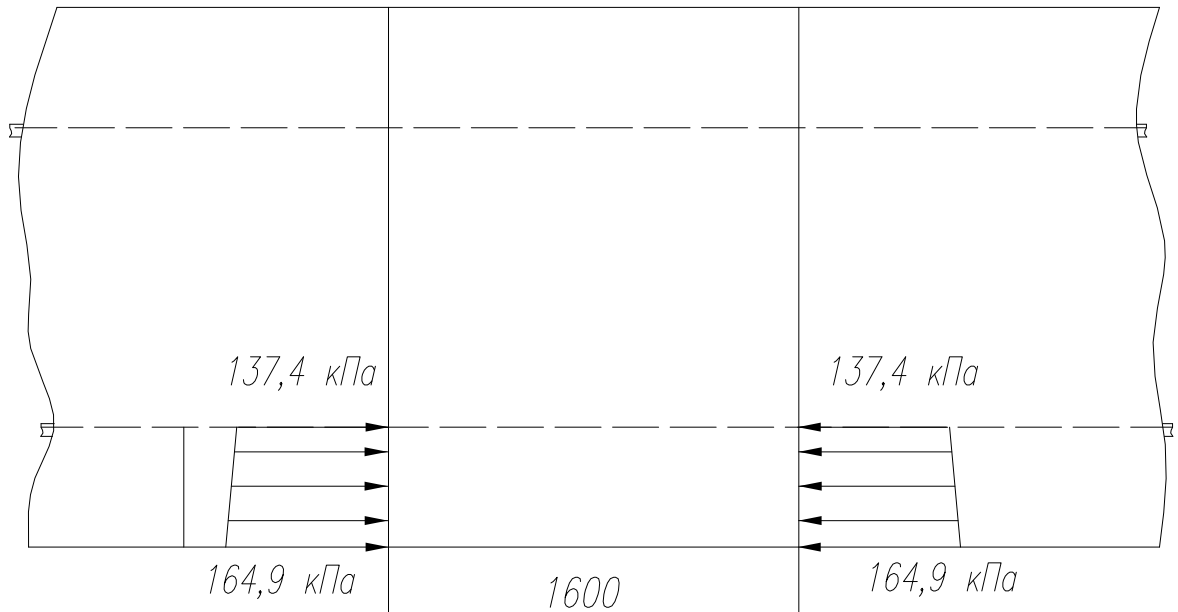
Товщина днищевих стрингерів без урахування зносу та корозії:

$$S' = S - \Delta S = 14 - 2,4 = 11,6 \text{ мм}.$$

$$\sigma_{\partial n} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{\partial n}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4170787 \cdot 8,02}{202,83} \cdot 10^{-3} = 164,9 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot (Z_{\partial n} - 1,34)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4170787 \cdot (8,02 - 1,34)}{202,83} \cdot 10^{-3} = 164,9 = 137,4 \text{ МПа},$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{1600}{400} = 4 > 1, \quad \psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}} = \frac{137,4}{164,9} = 0,83 \quad - \text{ коефіцієнт нерівномірності}$$

стискання кромки пластини.

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,83 + 1,1} = 4,35$$

Ейлерові напруження визначимо за формулами:

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot n \cdot \left(\frac{S'}{b} \right)^2 = 0,1854 \cdot 4,35 \cdot \left(\frac{11,6}{0,4} \right)^2 = 678,3 \text{ МПа},$$

Так як $\sigma_e = 678,3 \text{ МПа} > 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 390 = 195 \text{ МПа}$, то критичні напруження визначимо за формулою:

$$\sigma_{кр} = R_{EH} \cdot \left(1 - \frac{R_{EH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 390 \cdot \left(1 - \frac{390}{4 \cdot 678,3} \right) = 333,9 \text{ МПа}$$

$\sigma_{кр} = 333,9 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 164,9 \text{ МПа}$, тому робимо висновок, що днищеві стрингери будуть стійкими.

Визначимо профіль балок основного набору, які проходять по днищу та по другому дні.

Для повздовжніх балок обираємо сталь 10Г2С1Д

Момент опору балок основного набору визначається за формулою:

$$W = W' \cdot \omega_k; \quad W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}, \text{ см}^3$$

де W' – момент опору балки без урахування запасу на знос та корозію, см^3 ;
 P – розрахунковий тиск на рівні середини вертикального кіля і стрингера, кПа;
 $a=0,8$ – відстань (шпация) між балками, які розглядаються, м; $l=1,6$ – прогін балки, м;
 $m=12$, k_y – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних Правилах; ω_k – поправка на знос та корозію.

1. $P = P_{st} + P_W = 137,9$ кПа – розрахунковий тиск для поздовжніх балок днища.

2. $P = 271,2$ кПа – розрахунковий тиск для повздовжніх балок другого дна.

$$1. k_\sigma = 0,45 \cdot k_b \geq 0,45; \quad k_b = \frac{W_b^\phi}{W_{mp}} = \frac{16,65}{15,67} = 1,063;$$

$$k_\sigma = 0,45 \cdot k_b = 0,45 \cdot 1,063 = 0,48$$

$$2. k_\sigma = 0,6 \cdot k_b \leq 0,75; \quad k_\sigma = 0,6 \cdot k_b = 0,6 \cdot 1,063 = 0,65. \quad \omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S;$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) \text{ – для балок з } W > 200 \text{ см}^3.$$

$$1. W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{137,9 \cdot 0,9 \cdot 1,6^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,48 \cdot 326} = 169,2 \text{ см}^3; \quad W' < 200 \text{ см}^3, \text{ тому}$$

$$h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{169,2} = 0,105$$

$$\text{Поправка на знос та корозію: } \omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,105 \cdot 2,4 = 1,254;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 169,2 \cdot 1,254 = 212,9 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний 186,
 $h_{cm}=180$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=25,8 \text{ см}^2$; $W=218 \text{ см}^3$, т.я.

$$S_{min}=0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 218,3 + 5,5 = 10,96 \text{ мм.}$$

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{271,2 \cdot 0,9 \cdot 1,6^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 326} = 245,73 \text{ см}^3$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \cdot \left(0,01 + \frac{1}{245,73} \right) = 0,094$$

$$\text{Поправка на знос та корозію: } \omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,094 \cdot 2,4 = 1,23;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 245,73 \cdot 1,23 = 302,25 \text{ см}^3$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний 20а,
 $h_{cm}=200$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=32,8$ см²; $W=343$ см³, т.я.

$$S_{min}=0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 218,3 + 5,5 = 10,96 \text{ мм.}$$

2.10.3 Бортова скулова цистерна

$P = 157,95$ кПа – розрахунковий тиск для бортової скулової цистерни.

$$k_{\sigma} = 0,6 ;$$

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{157,95 \cdot 0,8 \cdot 6,2^2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,6 \cdot 345,6} = 2342 \text{ см}^3; W' > 200 \text{ см}^3, \text{ тому}$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \cdot \left(0,01 + \frac{1}{2342} \right) = 0,07$$

Поправка на знос та корозію: $\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,07 \cdot 2,4 = 1,168 ;$

$$W = W' \cdot \omega_k = 2342 \cdot 1,168 = 2735 \text{ см}^3$$

Приймаю тавр зварний 56а $\frac{14 \times 560}{18 \times 250}$, $f=123,4$ см²; $W=3600$ см³, $f_{нояс}=100$ см²

2.10.4. Бортове перекриття

Визначимо розрахунковий тиск посередині прольоту шпангоута.

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,4 = 24,13 \text{ кПа}$$

де $\rho=1,025$ т/м³ – щільність морської води; $g=9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; $Z_i=2,4$ м – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії,

Розрахунковий хвильовий тиск визначається за формулою:

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 29,8 - 1,5 \cdot 10 \cdot \frac{2,4}{12,2} = 27,2 \text{ кПа}$$

При $Z_i=2,4$ м

$$P = P_{st} + P_w = 24,13 + 27,2 = 51,33 \text{ кПа}$$

$$P_{min} = 10z + 0,15L + 10 = 10 \cdot 2,4 + 0,15 \cdot 218,3 + 10 = 66,7 \text{ кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск посередині прольоту шпангоута $P = 66,7$ кПа

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{66,7 \cdot 0,8 \cdot 7,25^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 345,6} = 694 \text{ см}^3$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \cdot \left(0,01 + \frac{1}{694} \right) = 0,076$$

$l = 7,25 \text{ м}$ – прогін шпангоуту, $W' > 200 \text{ см}^3$, тому

Поправка на знос та корозію: $\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,076 \cdot 1,56 = 1,118$

$$W = W' \cdot \omega_k = 694 \cdot 1,118 = 775,9 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 9235-76, вибираємо штабобульб симетричний 30810, $h_{cm}=300 \text{ мм}$, $S_{cm}=10 \text{ мм}$; $f=51 \text{ см}^2$; $W=800 \text{ см}^3$, $f_{нояс}=50 \text{ см}^2$, мінімальна товщина стінки шпангоуту $S_{min}=(1+0,03 \cdot L)k=(1+0,03 \cdot 200) \cdot 1,25=8,75 \text{ мм}$

2.10.5 Проектування конструкцій бортової підпалубної цистерни.

Поздовжні балки ВП.

Приймаю розрахунковий тиск що діє на палубу та підпалубні балки
 $P = 16,88 \text{ кПа}$

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{16,8 \cdot 0,9 \cdot 3,2^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 326} = 86,3 \text{ см}^3$$

$l = 3,2 \text{ м}$ – прогін поздовжньої балки між рамними балками цистерни, $W' < 200 \text{ см}^3$,

$$h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{86,3} = 0,14$$

Поправка на знос та корозію: $\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,144 \cdot 1,8 = 1,252$

$$W = W' \cdot \omega_k = 86,3 \cdot 1,252 = 108,05 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний 18б, $h_{cm}=180 \text{ мм}$, $S_{cm}=11 \text{ мм}$; $f=25,8 \text{ см}^2$; $i=3130 \text{ см}^4$, $W=206 \text{ см}^3$, тому що мінімальна будівельна товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min}=5,5+0,025 \cdot L=5,5+0,025 \cdot 218,3=11 \text{ мм}$$

Перевіримо стійкість поздовжніх балок підпалубної цистерни:

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\sigma_e = \frac{206i}{fl^2} = \frac{206 \cdot 3130}{25,8 \cdot 3,2^2} = 2440,6 \text{ МПа}$$

Так як $\sigma_e = 2440,6 \text{ МПа} > 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 355 = 177,5 \text{ МПа}$, тому

$$\sigma_{кр} = R_{EH} \left(1 - \frac{R_{EH}}{4\sigma_e} \right) = 355 \left(1 - \frac{355}{4 \cdot 2440,6} \right) = 342 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{кр} = 342 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 231,7 = 254,9 \text{ МПа}.$$

2.10.6 Поздовжні балки похилого листа бортової підпалубної цистерни.

Приймаю розрахунковий тиск що діє на похилу стінку підпалубної цистерни посередині прогину $P = 34,75 \text{ кПа}$.

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{34,75 \cdot 0,9 \cdot 3,2^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,55 \cdot 326} = 148,9 \text{ см}^3$$

$l = 3,2 \text{ м}$ – прогін поздовжньої балки між рамними балками цистерни

$$h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{148,9} = 0,11$$

$W' < 200 \text{ см}^3$, тому поправка на знос та корозію:

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,11 \cdot 1,8 = 1,2$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 148,9 \cdot 1,2 = 178,7 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний профілю 206, $h_{cm}=200 \text{ мм}$, $S_{cm}=12 \text{ мм}$; $f=31,4 \text{ см}^2$; $i=5110 \text{ см}^4$; $W=296 \text{ см}^3$, тому що мінімальна товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min}=5,5+0,025 \cdot L=5,5+0,025 \cdot 218,3=11 \text{ мм}$$

Перевіримо стійкість поздовжніх балок підпалубної цистерни:

$$\sigma_e = \frac{206i}{fl^2} = \frac{206 \cdot 5110}{31,4 \cdot 3,2^2} = 3273,8 \text{ МПа}$$

Так як $\sigma_e = 3273,8 \text{ МПа} > 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 355 = 177,5 \text{ МПа}$, тому

$$\sigma_{кр} = R_{EH} \left(1 - \frac{R_{EH}}{4\sigma_e} \right) = 355 \left(1 - \frac{355}{4 \cdot 3273,8} \right) = 345,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{кр} = 345,4 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 231,7 = 255 \text{ МПа},$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

2.10.7 Поздовжні балки борту.

Приймаю розрахунковий тиск що діє на борт при відстані від ВП $z=2,7$ м
 $P = 42,15$

$$P = 0,75 \cdot \rho \cdot g (z_i - \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (2,7 + 1,5) = 31,67 \text{ кПа}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,7 + 15 = 42,15 \text{ кПа}$$

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{42,15 \cdot 0,9 \cdot 3,2^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,55 \cdot 326} = 180,5 \text{ см}^3$$

$l = 3,2$ м – прогін поздовжньої балки між між рамними балками цистерни

$$h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{180,5} = 0,103$$

$W' < 200 \text{ см}^3$, тому

Поправка на знос та корозію: $\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,103 \cdot 1,8 = 1,187$

$$W = W' \cdot \omega_k = 180,5 \cdot 1,187 = 214,3 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний профілю 186, $h_{cm}=180$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=25,8 \text{ см}^2$; $i=3530 \text{ см}^4$, $W=218 \text{ см}^3$, тому що мін. товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min}=5,5+0,025 \cdot L=5,5+0,025 \cdot 198,3=11 \text{ мм}$$

Перевіримо стійкість поздовжніх балок підпалубної цистерни:

$$\sigma_e = \frac{206i}{fl^2} = \frac{206 \cdot 3530}{25,8 \cdot 3,2^2} = 2440,6 \text{ МПа}$$

Так як $\sigma_e = 2440,6 \text{ МПа} > 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 355 = 177,5 \text{ МПа}$, тому

$$\sigma_{кр} = R_{EH} \left(1 - \frac{R_{EH}}{4\sigma_e} \right) = 355 \left(1 - \frac{355}{4 \cdot 2440,6} \right) = 342 \text{ МПа}$$

$\sigma_{кр} = 342 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 231,7 = 255 \text{ МПа}$, тому робимо висновок, що поздовжні балки підпалубної цистерни будуть стійкими.

2.10.8 Горизонтальні поздовжні балки перепон підпалубної цистерни.

Приймаю розрахунковий тиск що діє на горизонтальні балки поздовжніх перепон $z=1,98$ м $P = 35$ кПа

$$P = 0,75 \cdot \rho \cdot g (z_i - \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (1,98 + 1,5) = 26,2 \text{ кПа}$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$P = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 1,98 + 15 = 35 \text{ кПа}$$

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{35 \cdot 0,9 \cdot 3,2^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,55 \cdot 326} = 150 \text{ см}^3$$

$$l = 3,2 \text{ м} - \text{прогін поздовжньої балки між рамними балками цистерни}$$

$$W' < 200 \text{ см}^3, \text{ тому } h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{150} = 0,11$$

$$\text{Поправка на знос та корозію: } \omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,11 \cdot 1,8 = 1,2$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 150 \cdot 1,2 = 180 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний профілю 186, $h_{cm}=180$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=25,8\text{см}^2$; $i=3530 \text{ см}^4$, $W=218 \text{ см}^3$, тому що мін. товщина конструкцій підпалубної цистерни $S_{min}=5,5+0,025L=5,5+0,025 \cdot 198,3=11\text{мм}$

Перевіримо стійкість поздовжніх балок підпалубної цистерни:

$$\sigma_e = \frac{206i}{fl^2} = \frac{206 \cdot 3530}{25,8 \cdot 3,2^2} = 2440,6 \text{ МПа}$$

Так як $\sigma_e = 2440,6 \text{ МПа} > 0,5 \cdot R_{EH} = 0,5 \cdot 355 = 177,5 \text{ МПа}$, тому

$$\sigma_{кр} = R_{EH} \left(1 - \frac{R_{EH}}{4\sigma_e} \right) = 355 \left(1 - \frac{355}{4 \cdot 2440,6} \right) = 342 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{кр} = 342 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_e = 1,1 \cdot 231,7 = 255 \text{ МПа}$$

2.10.9 Поперечні балки.

Приймаю розрахунковий тиск що діє на рамні бімси $P = 16,88 \text{ кПа}$.

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{16,88 \cdot 3,2 \cdot 4,2^2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 326} = 439 \text{ см}^3$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \cdot \left(0,01 + \frac{1}{439} \right) = 0,082$$

$l = 4,2 \text{ м} - \text{прогін поздовжньої балки між рамними балками цистерни}$

$W' > 200 \text{ см}^3$, тому

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Поправка на знос та корозію: $\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,082 \cdot 1,8 = 1,148$

$$W = W' \cdot \omega_k = 439 \cdot 1,148 = 504 \text{ см}^3$$

Площа поперечного перерізу стінці рамного бімсу повинна бути не менша ,

ніж: $f_c = \frac{7,3Pal}{0,8\tau_n} + 0,1h_c\Delta S$,

$\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 326 = 185,82$ кПа—границя плинності за дотичним напруженням;

$$f_c = \frac{7,3 \cdot 16,88 \cdot 3,2 \cdot 4,2}{0,8 \cdot 185,82} + 0,1 \cdot 50 \cdot 1,8 = 20,14 \text{ см}^2 \quad f_c 50^a = 60 \text{ см}^2$$

Приймаю тавр зварний РД.9373-80 профілю 50а $\frac{12 \times 500}{16 \times 220}$, $f=95,2 \text{ см}^2$; $W=2350 \text{ см}^3$, $f_{нояс}=50 \text{ см}^2$.

Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

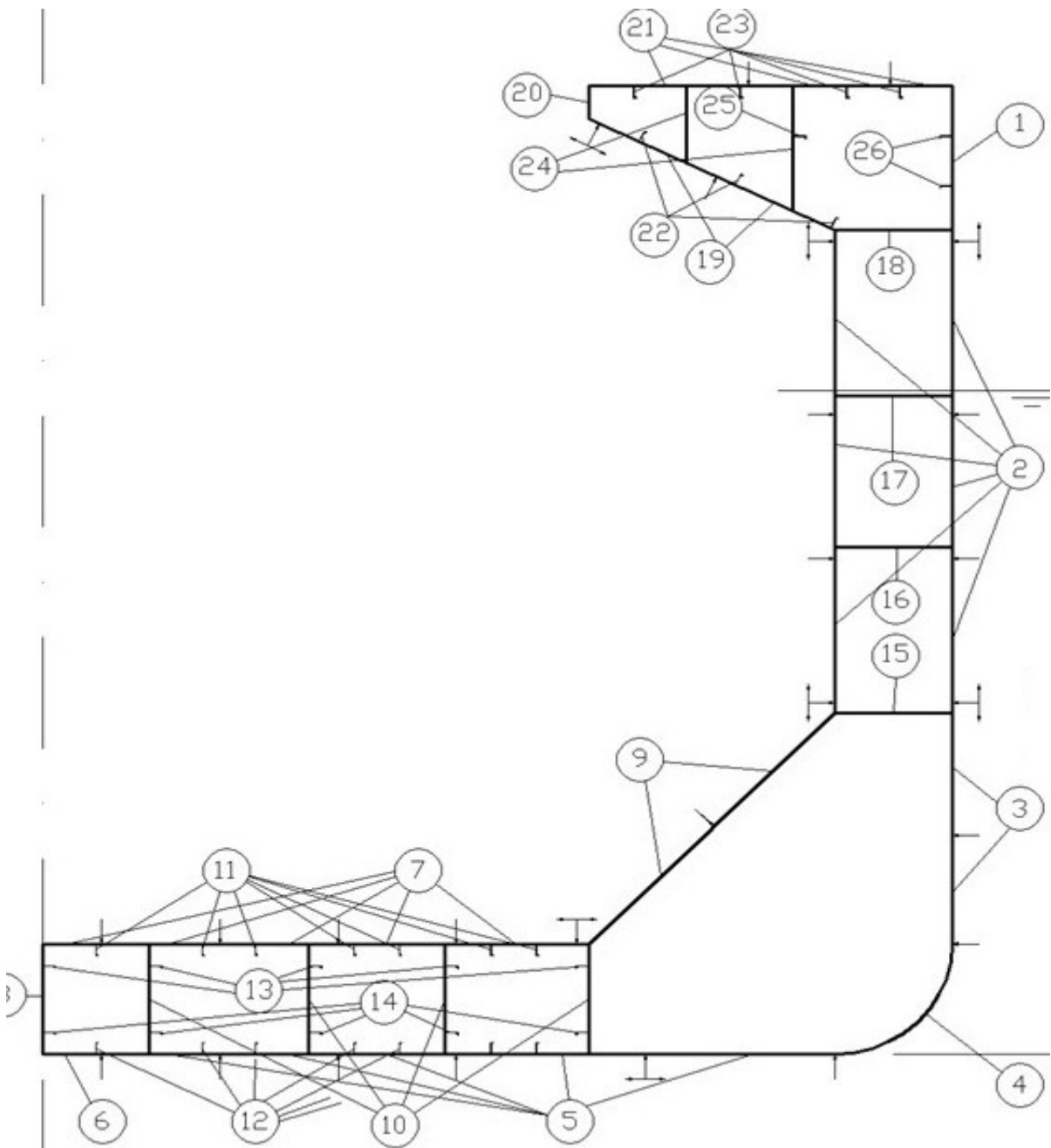


Рис. 2.1 – Еквівалентний брус

Таблиця 6.1

	Найменування в'язей		Розмір в'язей	Площа в'язи F, cm^2	Відстань ЦТ в'язи від вісі порівняння z, m	Статичний момент площі відносно вісі порівняння $Fz, \text{cm}^2 \cdot \text{m}$	Переносний момент інерції $Fz^2, \text{cm}^2 \cdot \text{m}^2$	Власний момент інерції $i, \text{cm}^2 \cdot \text{m}^2$	Відстань ЦТ в'язи від нейтральної вісі, e, m
1	2		1	2	3	4	5	6	7

1	Ширстрек		2800x25 2800x 25002	700	16.1	11270	181447	457	8.67
2	Пояси перемінних ватерліній		8338x20	1668	10.53	17560	184905	9661	3.10
3	Надскуловий пояс		434360 4360x18x	785	4.18	3280	13712	1243	-3.25
4	Скуловий пояс		3141x18 3141	565	0.58	328	190	465	-6.85
5	Пояси НО днища		12400x18 x	2232	0.009	20	0.181	—	-7.42
6	Гориз. киль		1000x20 x	200	0.01	2	0.020	—	-7.42
7	Настил 2-го дна		9 0 4 0 x 2 0	1808	1,99	3598	7160	-	-5,44
8	Вертик. киль		2000x19	380	1	85	170	57	-6,43
9	Лист нахилої стінки 2-го дна		6283x14	880	4.08	3589	14643	2894	-3.35
10	Днищевой стрингер (4 шт.)	4	2000 2000x14 4	1120	1	1120	1120	93	-6.43
11	РЖ 2 дна (7 шт)	7	20a	192	1.876	360	675	0.0	-5.56
12	Ребро жорсткості днищеве (7 шт.)	7	186	18	0.128	23	3	0	-7.30
13	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)	5	186	129	1.6	206	330	—	-5.83
14	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)	5	186	129	0.4	52	21	—	-7.03
15	Стрингери плат-форми 2-го борту		2000x14	280	6.16	1725	10625	—	-1.27
16	Стрингери плат-форми 2-го борту		2000x14	280	9.16	2565	23494	—	1.73
17	Стрингери плат-форми 2-го борту		2000x 14	280	11.9	3332	39651	—	4.47
18	Стрингери плат-форми 2-го борту		2 0 0 0 x 1 4	280	14.9	4172	62163	—	7.47
19	Нахилний лист підпалубної цистерни		4616x25	1154	15.9	18349	291743	—	8.47
20	Лист підпалубної цистерни		1000x25 1000x25 1000x25	250	17.2	4300	73960	21	9.77

21	Лист верхньої полууби		5100x25	1275	17.3	22058	381595	—	9.87
22	Балки Р.Ж. цистерны (3шт.)	3	206	94	15.8	1488	23516	—	8.37
23	Балки основного Р.Ж. палууби (4шт.)	4	206	126	17.38	2183	37939	0	9.95
24	Поздовжній лист коридору		3664x22	806	16.56	13349	221054	902	9.13
25	Балки підпалубної цистерни (1шт.)	1	186	26	16.6	428	7109	—	9.17

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.02				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					57

26	Балки набора щирстреку (2шт.)	2	206	63	16.15	1014	16380	—	8.72
	СУМА			15671		16455	1609397		

$$I_{н.о}=2(C-e^2 \cdot A) \cdot 10^{-4} = 148,80 \text{ м}^4; e=B/A= 116455/15671=7,43 \text{ м}; I=148,80$$

$$W_{б\phi}=I/e=20,024 \text{ см}^3$$

$$W_{д\phi}=I/(D-e)=148,80/(17.5-7.43)=14,78 \text{ см}^3$$

$$W_{тр\epsilon\delta} = 14,38 \text{ м}^3$$

$$I_{\min} = 124,6 \text{ м}^4$$

$$W_{б\phi} > W_{тр\epsilon\delta}; W_{д\phi} > W_{тр\epsilon\delta}; I > I_{\min}$$

Загальна поздовжня міцність судна забезпечена

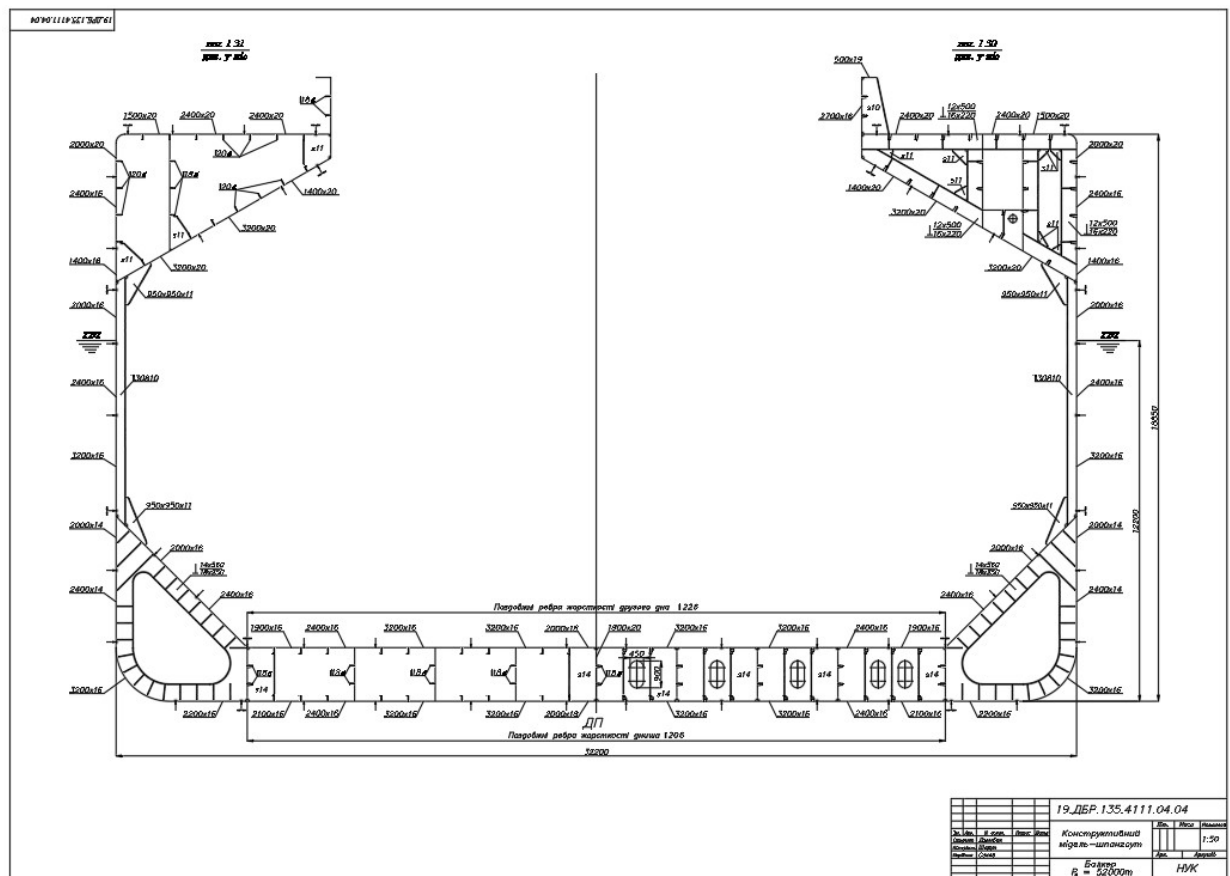
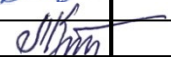


Рис. 2.1 – Конструктивний мідель-шпангоут

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перевірка міцності і стійкості в'язей корпусу судна НУК			
Розробив	Дзем'як В.Р.							
Консульт.	Соков В.М.							
Керівник	Соков В.М.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА

Перевірка міцності на вигин зовнішньої обшивки днища проводиться відповідно до вимог Норм міцності морських суден.

3.1 Розрахункова схема пластини днищового перекриття

При поздовжній системі набору днища, розрахунковим є прямокутне поле зовнішньої обшивки, обмежене жорстким днищевим набором – поздовжніми ребрами жорсткості (вертикальним кілем, днищовими стрингерами) і суцільними флорами, які встановлюються через кілька шпаций. Ставлення довгої сторони поля a до короткої b , завжди більше одиниці – $\gamma = a/b > 1$.

Відповідно до діючих Норм міцності, розрахунок на вигин такого поля обшивки (пластини), проводиться в припущенні жорсткого защемлення пластини уздовж крайок, вважаючи опорний контур жорстким (таким, що не зміщується). Розрахункове навантаження p приймається рівномірно розподіленим по всьому полю пластини.

Пластина, що розглядається, розміщується у кормовій частині судна, на відстані 0,1 довжини судна від кормового перпендикуляру.

На рисунку 3.1 представлена розрахункова схема пластини днища із зазначенням розташування найбільш напружених точок 1 та 1'.

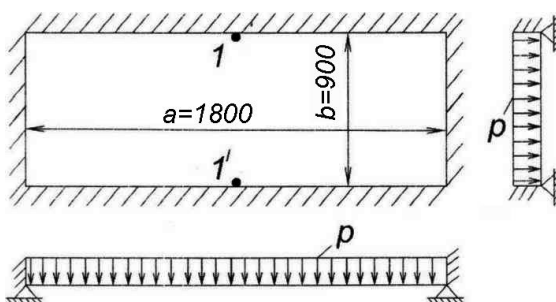


Рисунок 3.1. Розрахункова схема пластини днища

3.2 Розрахункове навантаження

Розрахункове навантаження на пластину днища визначається без протидії навантаження зсередини за формулою $P=P_{\text{ст}}+P_{\text{хв}}$, де $P_{\text{ст}}$ – розрахунковий статичний тиск води, кПа; $P_{\text{хв}}$ – тиск, обумовлений хитавицею судна, кПа;

$$P=P_{\text{ст}}+P_{\text{хв}}=120,66+72,63=193,29 \text{ кПа},$$

$$P_{\text{ст}}=\rho g d=1,025 \cdot 9,81 \cdot 12,2=120,66 \text{ кПа},$$

$$P_{\text{хв}}=\rho g h/2 \cdot a_v \cdot a_x=1.025 \cdot 9.81 \cdot 9,86/2 \cdot 1,98 \cdot 0,74=72,63 \text{ кПа},$$

де h – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах,

$$h = k_c \cdot C_w = 1 \cdot 9,86 = 9,86 \text{ м};$$

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1 \leq 1, \quad C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 9,86 \leq 10,75;$$

a_v, a_x – параметри хитавиці

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) = 1,25 \left(1 - 2 \frac{41,68}{208,4} \right) = 0,74$$

$$a_v = \frac{0,8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15 \left(\frac{208,4}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{208,4}} + 1,5 = 1,98$$

$V_0 = 15,0$ – швидкість судна на тихій воді, вузл.; $L = 208,4$ – довжина судна, м;

$x_n = 41,68$ – відстань від центру поля пластини до найближчого носового чи кормового перпендикуляра, м;

$K_x = 1,25$ – для пластин, розташованих в ніс от міделя, и $K_x = 0,75$ – для пластин в корму от міделя.

3.3 Визначення напружень в небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі, зображеній на рис. 3.1, небезпечними точками позначено точки по середині довгої сторони опорного контуру (точки 1 та 1').

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Відповідно до теорії згину тонких пластин максимальне нормальне напруження $\sigma_{\max}$ у вказаних точках визначається за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 13605,4}{18^2} = 251,95, \text{ МПа},$$

де t – товщина пластини, мм; $M = kpb^2 \cdot 10^{-3}$ – погонний згинальний момент в точках 1 та 1' опорного контуру, Н; $k = 0,0832$ – коефіцієнт, який залежить від відношення довжин кромки пластини, визначається за довідковими таблицями

$$M = kpb^2 \cdot 10^{-3} = 0,0833 \cdot 193,29 \cdot 845 = 13605,4, \text{ Н};$$

де p – розрахунковий тиск, кПа;

b – менший розмір поля пластини (шпация), мм;

$k = 0,0833$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин кромки пластини k , визначається за довідковими таблицями вигину ізотропних жорстких пластин за умови їх жорсткого защемлення на жорсткому опорному контурі [методичне керівництво з розрахунку пластин сторінка (9) таблиця (3)].

3.4 Перевірка умов міцності

Умова міцності має вигляд

$$\sigma_{\max} \leq k_{\sigma} \sigma_T^H$$

де σ_T^H – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа

$$\sigma_T^H = k_H \cdot R_{eH} = 0,92 \cdot 390 = 359,2, \quad k_H = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{R_{eH}}{235} - 1 \right)^{3/2}};$$

$$K_H = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{390}{235} - 1 \right)^{3/2}} = 0,92$$

$R_{eH} = 390$ – межа плинності, МПа;

$k_{\sigma} = 1,1$ – коефіцієнт допустимих напружень для даного перерізу, який приймається згідно норм для пластин днища.

$\sigma_{\max}$ – максимальне згинальне напруження

$$\sigma_{\max} = 251,95 < k_{\sigma} \sigma_T^H = 1,1 \cdot 359,2 = 395,1$$

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Умова міцності виконується.

ВИСНОВКИ

Згідно з завдання, отриманого на дипломну роботу, спроектований балкер для перевезення навалювальних вантажів.

У дипломній роботі були визначені головні розміри судна в двох наближеннях і потужність головного двигуна.

Побудовано теоретичне креслення і 3-D модель судна у системі “MaxSurf”, виконані розрахунки об’ємів і центрів тяжіння приміщень; судно удиферентовано у повному вантажі.

Виконані розрахунки по теорії корабля: елементи плавучості і початкової остійності; розрахована діаграма статичної остійності, критерій погоди; перевірені вимоги правил Регістру до діаграми статичної остійності судна;

Відповідно до «Правил класифікації та побудови суден» Регістру судноплавства України, спроектований конструктивний мідель-шпангоут судна. Виконано перевірку загальної і місцевої міцності судна.

					КРБ.135.4111.03.ПЗ.03	Арк.
						63
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.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.