

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теорії та проектування суден

(повна назва кафедри)

Допущений до захисту
"Зав. кафедрою"
В.О. Мейрасов
"20" 06 2025р.

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Проектування балкера вантажопід'йомністю 38350т**

Виконав: студент 4 курсу, групи 4117ст
Спеціальність 135 «Суднобудування»
Спеціалізація **“Кораблі та океанотехніка”**

(шифр і назва спеціальності)

Білов В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Пашенко Ю.М.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кафедра теорії та проектування суден
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 135 "Суднобудування"
Освітньо-професійна програма "Кораблі і океанотехніка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП "Кораблі і океанотехніка"
Ястреба к.т.н, О.П. Ястреба
"___" _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ групи 4117ст

Білову Володимиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проектування балкера вантажопідйомністю 38350 т»

керівник роботи Пашенко Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "___" 2025 року № ___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи:

- 3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) 38350т
- 3.2. Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура) 1,2
- 3.3. Швидкість експлуатаційна 15,4 вуз
- 3.4. Клас судна за Правилами класифікаційного товариства _____
- 3.5. Дальність та район плавання 15500 миль
- 3.6. Додаткові вимоги МОД

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.
- 4.2. Побудова теоретичного креслення.
- 4.3. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.
- 4.4. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн.
- 4.5. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна (100 % вантажу, 100 % запасів).
- 4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.
- 4.7. Розрахунок конструкції корпусу судна.
- 4.8. Розрахунок загальної та місцевої міцності.

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

- 5.1. Теоретичне креслення.
- 5.2. Гідростатичні криві.
- 5.3. Діаграма остійності неущожденного судна.
- 5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.
- 5.5. Креслення мідель-шпангоута

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	доц. Пащенко Ю.М.	05.02.25р.		05.03.25р.	
теорія корабля	доц. Пащенко Ю.М.	27.03.25р.		27.04.25р.	
Конструкція корпусу	ст. вик. Шарун Г.В.	28.04.25р.		28.05. 25р	
БМК	проф. Коростильов Л.І.	28.05.25р.		08.06.25р.	

7. Дата видачі завдання 05.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. 1	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	15.02.2025р.	
2. 2	Побудова теоретичного креслення.	26.02.2025р.	
3.	Побудова гідростатичних кривих.	19.03.2025р.	
4.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна.	31.03.2025р.	
5. 3	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	27.04.2025р.	
6.	Розрахунок конструкції корпусу	28.05.2025р.	
7.	Розрахунок загальної та місцевої міцності.	8.06.2025р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки.	16.06.2025р.	

Студент _____ **Білов В.В.**

Керівник роботи _____ **Пащенко Ю.М.**

АНОТАЦІЯ

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі представлено проект балкеру вантажопідйомністю 38350 тонн. Робота складається з семи розділів, які характеризують основні етапи проектування судна. У першому розділі відбувається визначення головних елементів і характеристик судна-проекту. У другому розділі відбувається визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат центру мас. У третьому розділі ведеться побудова теоретичного креслення і розрахунку гідростатичних кривих. У четвертому розділі проводиться удиферентування судна (100% вантажу, 100% запасів). У п'ятому розділі проводиться перевірка вимог кваліфікаційного товариства до остійності судна. У Шостому розділі проводиться розрахунок конструкції корпусу судна. В останньому сьомому розділі проводиться розрахунок загальної та місцевої міцності.

Ключові слова: балкар, основні розміри, остійність, мореплавство, диференціал, міцність.

SUMMARY

This bachelor's thesis presents a design for a bulk carrier with a deadweight of 38,350 tonnes. The thesis consists of seven chapters describing the main stages of ship design. The first chapter defines the main elements and characteristics of the ship design. The second section determines the capacity of cargo holds and tanks, calculates the load, and determines the coordinates of the centre of gravity. The third section constructs a theoretical drawing and calculates hydrostatic curves. The fourth section deals with the differentiation of the ship (100% cargo, 100% supplies). The fifth section checks the requirements of the classification society for the stability of the ship. The sixth section calculates the structure of the ship's hull. The last, seventh section calculates the overall and local strength.

					24. ДРБ. 135.4117ст.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Keywords: bulk carrier, main dimensions, stability, navigation, differential, strength.

					24. ДРБ. 135.4117ст.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

1 ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА	6
1.1 Визначення масових характеристик судна-проекту у першому наближенні	7
1.2 Визначення лінійних характеристик судна-проекту в першому наближенні	12
1.3 Визначення масових та лінійних характеристик судна-проекту у другому наближенні	16
1.4 Побудова теоретичного креслення та гідростатичних кривих	20
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА УКРАЇНИ	22
2.1. Опис архітектурно-конструктивного типу судна	22
2.2 Розрахункові навантаження	24
2.3 Загальна поздовжня міцність судна	30
2.4 Визначення товщин листів	31
2.5 Проектування ребер жорсткості набору	39
2.6 Перевірка загальної поздовжньої міцності	44
3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ В'ЯЗЕЙ КОРПУСУ СУДНА	52
3.1 Перевірка пластини зовнішньої обшивки днища на міцність	52
3.2 Перевірка пластин на стійкість	55
3.3 Перевірка балок набору на міцність та стійкість	58
ВИСНОВОК	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

ВСТУП

Проект балкера вантажопідйомністю 38350 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.

					24. ДРБ. 135.4117ст.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4117ст.03.01.ПЗ			
Змн.	Арк.З	№ докум.Арк.	Підпис№	Дата				
					Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Білов В.В.							
Консульт.	Пашенко Ю.М.					НУК		
Керівник								
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

1 Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту

1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності прототипу складається алгебраїчне рівняння мас виду [1,5]:

$$\Delta = \dot{P}_K + \dot{P}_{OB} + \dot{P}_{EY} + \dot{P}_{PB} + \dot{P}_3 + \dot{P}_{3B} + \dot{P}_B + \dot{P}_B,$$

де Δ – водотоннажність прототипу, т;

$\dot{P}_K, \dot{P}_{OB}, \dot{P}_{EY}, \dot{P}_{PB}, \dot{P}_3, \dot{P}_{3B}, \dot{P}_B, \dot{P}_B$ – маса розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, води і масла, забезпечення, запасу водотоннажності, вантажу і баласту прототипу, т.

$$\Delta = 7867 + 3419 + 887 - 210 + 311 + 2125 + 37500 = 51900.$$

У першому наближенні елементи проекту судна розраховуються за коефіцієнтом використання (утилізації), який розраховується за прототипом:

$$\eta_B = \frac{\dot{P}_B}{\Delta} = \frac{37500}{51900} = 0,723$$

де $\dot{P}_B$ – вантажопідйомність прототипу;

Δ – водотоннажність прототипу.

Величина коефіцієнта утилізації по чистій вантажопідйомності залежить від швидкості ходу і дальності плавання, тому його значення змінюємо за допомогою виразу:

$$\eta_B^{\text{кор}} = \eta_B - \left(\dot{a}_{EY} \left(\frac{v_B}{v_e} \right)^3 + \dot{a}_\Pi \left(\frac{v_e}{v_e} \right)^2 \frac{R}{R} \right) + \dot{a}_{EY} + \dot{a}_\Pi,$$

де $\dot{a}_{EY} = \frac{\dot{P}_{EY}}{\Delta}$, $\dot{a}_\Pi = \frac{\dot{P}_\Pi}{\Delta}$ – вимірники мас енергетичної установки та маси палива відповідно.

$$\dot{a}_{EY} = \frac{\dot{P}_{EY}}{\Delta} = \frac{887}{51900} = 0,017; \quad \dot{a}_\Pi = \frac{2125}{51900} = 0,0409;$$

$$\eta_B^{\text{кор}} = 0,723 - \left(0,0171 \left(\frac{15,7}{15,9} \right)^3 + 0,0409 \left(\frac{15,2}{15,4} \right)^2 \frac{15500}{15000} \right) + 0,0171 + 0,0409 = 0,721.$$

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

					24.ДРБ.135.4117ст.03.01	Арк.

$$\eta_0 = \eta_B^{\text{кор}} \left(\frac{P_B}{\rho_B} \right)^{0,25} = 0,723 \left(\frac{38350}{37500} \right)^{0,25} = 0,725,$$

де P_B – вантажопідйомність проекту.

Таким чином, використання коригованого значення коефіцієнту утилізації дає можливість отримати уточнене значення очікуваної водотоннажності:

$$\Delta_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{38350}{0,730} = 52880 \text{ т.}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

Отримавши значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри проекту [6]. Для початку визначимо наступні характеристики форми корпусу:

- відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}}} = \frac{178,48}{\sqrt[3]{\frac{51900}{1,025}}} = 4,82;$$

- очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}} = 4,82 \cdot \sqrt[3]{\frac{53320}{1,025}} = 179,6 \text{ м};$$

- число Фруда:

проекту $Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{gL_0}} = \frac{0,514 \cdot 15,2}{\sqrt{9,81 \cdot 180,09}} = 0,1887 ;$

прототипу $Fr = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 15,4}{\sqrt{9,81 \cdot 178,48}} = 0,1893 .$

У табл. 1.1.2.1 проводимо розрахунок та прийняття коефіцієнтів повноти проекту для подальших розрахунків. Вибір коефіцієнтів проводимо виходячи з порівняння чисел Фруда проекту і прототипу.

Таблиця 1.1.2.1 - Вибір коефіцієнтів повноти проекту в порівнянні їх з прототипом

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
загальної повноти	$C_b = 1,1 - 1,68Fr$	0,769	0,784	0,784
повноти	$C_m = 0,977 + 0,085(C_b - 0,6)$	0,982	0,995	0,995

площі мідель- шпангоута				
ПОЗДОВЖНЬОЇ ПОВНОТИ	$C_p = \frac{C_b}{C_m}$	0,783	0,787	0,787
ПОВНОТИ площі ватерлінії	$C_w = \sqrt{C_b} - 0,025$	0,858	0,915	0,915

-Наступні відношення у 1-му наближенні можна прийняти за прототипом -

– визначення відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\dot{B}}{\dot{d}} = \frac{32,2}{11,1} = 2,90$$

– визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\dot{D}}{\dot{d}}\right) = \frac{15,8}{11,1} = 1,36;$$

– визначення відношення довжини до ширини борту:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\dot{L}}{\dot{B}}\right) = \left(\frac{178,48}{32,2}\right) = 5,54.$$

1.1.3 Розрахунок головних розмірів. Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho C_b L_1 B_1 d_1$$

де $k_{вч}=1,01$ – коефіцієнт, що враховує виступаючі за обводи ТК частини корпусу. Використовуючи співвідношення головних розмірів запишемо рівняння у вигляді:

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho (L/B)_1 B_1^3 (d/B)_1.$$

Таблиця 1.1.3.1 – Головні розміри у першому наближенні

					24.ДРБ.135.4117ст.03.01	Адк.

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1(B/d)_1}{k_{BЧ}\rho C_b(L/B)_1}}$	32,4
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	179,7
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	11,2
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	15,2

1.2 Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна

Розрахунок потужності головного двигуна проводимо за допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance. Результати розрахунку наведено в табл. 1.2.1.

Таблиця 1.2.1 – Результати розрахунків потужності головного двигуна (на наступній сторінці).

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,006	0,013	1,1	0,420
2	0,885	0,011	0,024	3,3	2,158
3	1,270	0,015	0,034	6,5	6,086
4	1,655	0,020	0,045	10,7	13,030
5	2,040	0,025	0,055	15,9	23,786
6	2,425	0,029	0,065	22,0	39,131
7	2,810	0,034	0,076	29,0	59,828
8	3,195	0,039	0,086	36,9	86,627
9	3,580	0,043	0,096	45,7	120,269
10	3,965	0,048	0,107	55,4	161,484
11	4,350	0,053	0,117	66,0	210,997
12	4,735	0,057	0,127	77,5	269,525
13	5,120	0,062	0,138	89,8	337,779
14	5,505	0,067	0,148	102,9	416,464
15	5,890	0,071	0,159	117,0	506,281
16	6,275	0,076	0,169	131,8	607,927
17	6,660	0,081	0,179	147,5	722,097
18	7,045	0,085	0,190	164,1	849,484
19	7,430	0,090	0,200	181,4	990,789
20	7,815	0,095	0,210	199,7	1146,721
21	8,200	0,099	0,221	218,7	1318,013
22	8,585	0,104	0,231	238,6	1505,434
23	8,970	0,109	0,242	259,4	1709,810
24	9,355	0,113	0,252	281,0	1932,050
25	9,740	0,118	0,262	303,6	2173,178
26	10,125	0,123	0,273	327,2	2434,368
27	10,510	0,127	0,283	351,8	2716,991
28	10,895	0,132	0,293	377,5	3022,657
29	11,280	0,137	0,304	404,5	3353,270
30	11,665	0,141	0,314	432,9	3711,077
31	12,050	0,146	0,324	462,8	4098,727
32	12,435	0,150	0,335	494,5	4519,319
33	12,820	0,155	0,345	528,2	4976,461
34	13,205	0,160	0,356	564,1	5474,313
35	13,590	0,164	0,366	602,5	6017,644
36	13,975	0,169	0,376	643,8	6611,863
37	14,360	0,174	0,387	688,2	7263,054
38	14,745	0,178	0,397	736,2	7978,043
39	15,130	0,183	0,407	788,2	8764,456
40	15,515	0,188	0,418	844,6	9630,476
41	15,900	0,192	0,428	905,8	10584,74

Потужність для швидкості на випробуваннях: $v_b=15,9$ вузлів, $N_g=10584,74$ кВт. Потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=15,4$ вузлів визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_e = 9530$ кВт.

Обираємо головний двигун фірми «New Sulzer Diesel» за каталогом (табл.1.2.2).

Таблиця 1.2.2 – Характеристики головного двигуна

№ з/п	Марка	P_{SN} , кВт	n , об/хв	g_e , г/(кВт·год)	L , мм	B , мм	H , мм	G , т
1	11L42MC	10945	176	177	10813	2460	6700	229

1.3 Визначення елементів проекту судна в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності. Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, що виражене у функції головних розмірів, у якому складові навантаження мас розраховуються за формулами, які дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_K = q_K C_b^n L B D$, а маса обладнання $P_o = q_o (L B D)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки та маси палива використовується значення потужності головного двигуна, що прийняте за каталогом. Вирази для маси забезпечення $P_{заб}$, запасу водотоннажності $P_{зв}$, значення яких у навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінним $P_{заб} = a_c \Delta$; $P_{зв} = a_{зв} \Delta$.

Для того, щоб виключити кількість невідомих в рівнянні мас та привести його до такого вигляду, щоб як і у першому наближенні його можна було б вирішити відносно Δ , використовуються наступні перетворення:

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

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

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\Delta_1 \left(1 - q_K \frac{C_b^n D}{C_b d \rho_B k_B} - a_{заб} - a_{зв} \right) = \Delta_1^{\frac{2}{3}} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_K k_K C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right) + q_{ey} N_{ey}^B + q_{пмз} k_{вс} N_{ey}^e \frac{R}{v_e} + P_B.$$

Таблиця 1.3.1.1 – Визначення проміжних коефіцієнтів

					24.ДРБ.135.4117ст.03.01	Адк.

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\hat{C}_b^{\pi} = \hat{C}_b \left(\frac{d}{D} \right) + 1,05 \hat{C}_w \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right) \right)$	0,826
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^{\pi} = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,820
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\hat{P}_K}{\hat{C}_b^{\pi} \hat{L} \hat{B} \hat{D}}$	0,105
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\hat{P}_{OB}}{(\hat{L} \hat{B} \hat{D})^{2/3}}$	1,692
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доп}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^{\pi}}{C_b} - a_{3B} - a_B$	0,846
	$m = q_{OB} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	2,627
	$A = q_{EY} N_{EY}^B + q_{\Pi} k_{мз} k_{доп} N_{EY}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	41563
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

Використовуючи метод підбору параметрів у програмі Excel вирішимо рівняння водотоннажності та отримаємо водотоннажність у другому наближенні

$$\Delta = 53538$$

Маючи значення водотоннажності у другому наближенні знайдемо маси статей навантаження судна-проекту в табл. 1.3.1.2.

Таблица 1.3.1.2 – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{вч} \rho} \right)$	7708
Маса обладнання, т	$P_{ОБ} = q_{ОБ} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{вч} \rho} \right)^{2/3}$	3414
Маса енергетичної установки, т	$P_{ЕУ} = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^B$	911
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	317
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{ЗВ} = a_{ЗВ} \Delta_2$	535
Маса палива, т	$P_{П} = q_{П} N_{ЕУ}^B \frac{R}{v_e} k_{мз} k_{дод}$	2302
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	38350
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{ОБ} + P_{ЕУ} + P_{П} + P_3 + P_{ЗВ} + P_B + P_B$	53538

1.3.2 Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитаючи

Головні розміри можна отримати по їх відношенням. У другому наближенні необхідно уточнювати ці відношення виходячи з вимог до різних якостей судна.

- Визначення відношення висоти борту до осадки з умови забезпечення вантажомісткості:

$$\frac{D}{d} = m_B \left[\frac{k_{вч} * \gamma * \delta * \eta_B}{k_i * \delta_\pi * \eta_{дл}} + \frac{H_{вд}}{T} \right]$$

$$\left(\frac{D}{d} \right)_{ВМС} = 1,20 \left[\frac{1,01 * 1,025 * 0,777 * 0,723}{0,9 * 0,784 * 0,76} + 0,16 \right] = 1,36$$

Приймаємо $\left(\frac{B}{d}\right)_2 = 1,36$.

- Визначення відношення ширини до осадки за умови забезпечення остійності та плавності хитавиці:

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

$$= \frac{0,13 + \sqrt{(0,13)^2 + \frac{1,03 \cdot 0,915^2}{3 \cdot 0,784} \left(0,65 \cdot 1,37 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,915}{0,784} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{1,03 \cdot 0,915^2}{6 \cdot 0,784}} = 3,04$$

Для вибору значення B/d його треба порівняти з B/d прототипу і якщо на проекті не передбачено перевезення вантажу на ВП прийняти B/d прототипу.

Приймаємо $\left(\frac{B}{d}\right)_2 = 2,9$.

- Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_2 \cdot k_{вч} \cdot \rho} = \sqrt{4,82^3 \cdot 0,784 \cdot 2,90 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 5,61$$

Приймаємо $\left(\frac{L}{B}\right)_2 = 5,54$.

1.3.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_B \rho_B C_b L_2 B_2 d_2$$

де $k_B = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує частини корпусу, що виступають за обводи ТК.

Використавши відношення головних розмірів, запишемо рівняння у виді:

$$\Delta = k_B \rho_B C_b (L/B)_2 B_2^3 (d/B)_2.$$

Таблиця 1.3.3.1 – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2 (B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	32,5
------------------	---	------

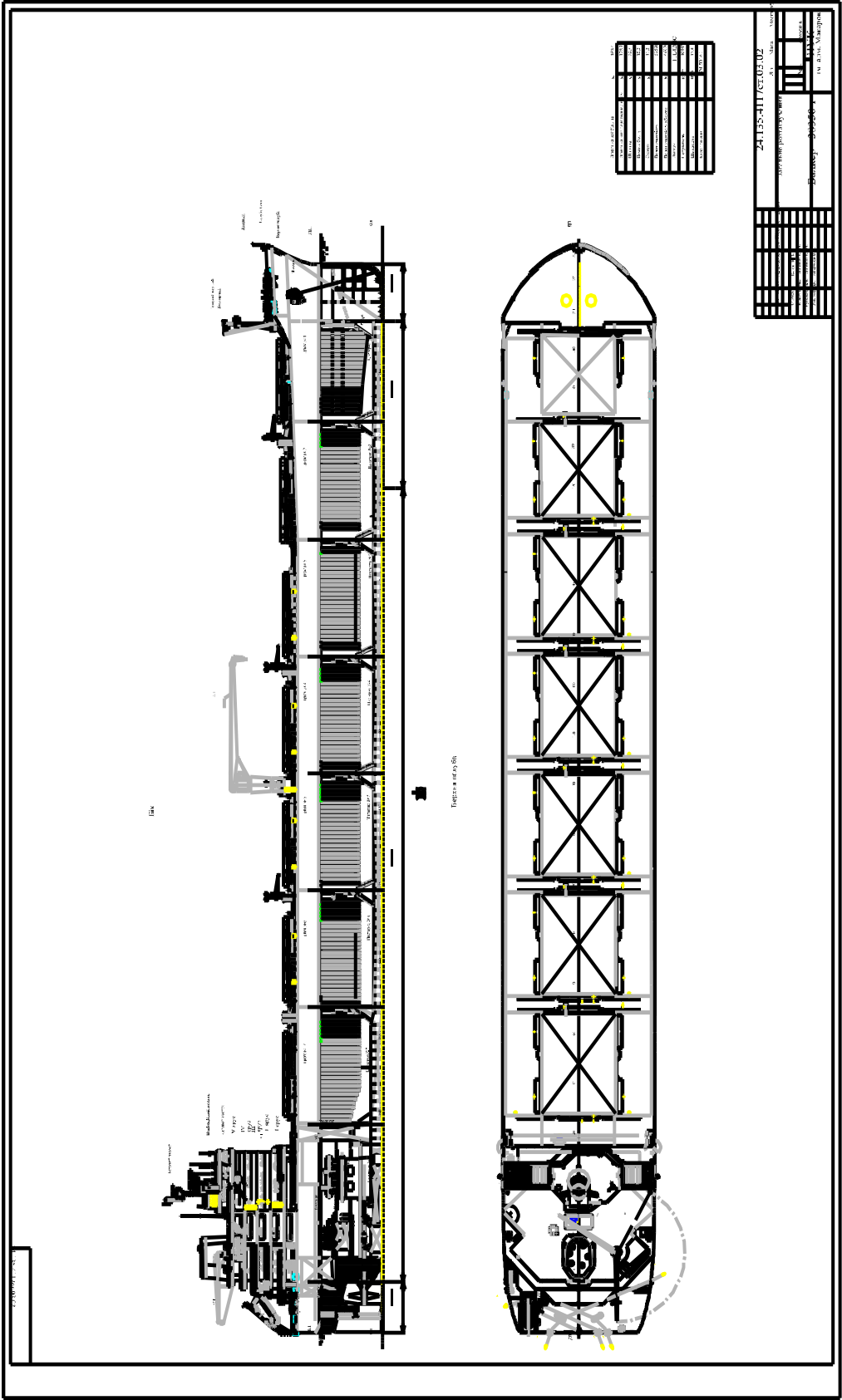
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	180,4
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	11,2
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	15,3

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

1.5 Побудова креслення загального розташування

Креслення будуємо у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення в середовищі AutoCAD.

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, мачти, вантажні стріли, леєрна огорожа, судові пристрої, навігаційні та ходові вогні, усі двері, трапи, ілюмінатори, габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, рушій.



2. РОЗРАХУНОК ВАНТАЖОМІСТКОСТІ СУДНА.

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

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна потрібно перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise. Так як довжина судна знаходиться в межах $165 \div 185$ м і розташування машинного відділення кормове, то загальну кількість водонепроникних перебірок приймаємо .

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,02 \cdot 180,4 + 0,48 = 0,841 \text{ м}$$

Таблиця 2.1.

Шпация	Відсік	Довжина
211-229	Ахтерпик	$L_{\text{ахт}} = 18 \cdot 0,6 = 10,8 \text{ м}$
180-211	МВ	$L_{\text{мв}} = 31 \cdot 0,85 = 26,35 \text{ м}$
157-180	Трюм №7	$L_{\text{тр7}} = 23 \cdot 0,85 = 19,55 \text{ м}$
134-157	Трюм №6	$L_{\text{тр6}} = 23 \cdot 0,85 = 19,55 \text{ м}$
111-134	Трюм №5	$L_{\text{тр5}} = 23 \cdot 0,85 = 19,55 \text{ м}$
88-111	Трюм №4	$L_{\text{тр4}} = 23 \cdot 0,85 = 19,55 \text{ м}$
65-88	Трюм №3	$L_{\text{тр3}} = 23 \cdot 0,85 = 19,55 \text{ м}$
39-65	Трюм №2	$L_{\text{тр2}} = 10 \cdot 0,85 + 16 \cdot 0,7 = 19,7 \text{ м}$
15-39	Трюм №1	$L_{\text{тр1}} = 24 \cdot 0,7 = 16,8 \text{ м}$
0-15	Форпик	$L_{\text{фор}} = 15 \cdot 0,6 = 9,0 \text{ м}$
Сума		$L = 180,4 \text{ м}$

Висоту другого дна розраховуємо за формулою:

$$h_{\text{дд}} = L - \frac{40}{0,57} + 40B + \frac{3500d}{L} = 180,4 - \frac{40}{0,57} + 40 \cdot 32,4 + \frac{3500 \cdot 11,2}{180,4} = 1,623 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_{\text{дд}} = 1,630 \text{ м.}$

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

$$b_{\text{пб}} = 0,5 + \frac{DW}{20000} = 0,5 + \frac{38350}{20000} = 2,445 \text{ м.}$$

Приймаємо $b_{\text{пб}} = 2,5 \text{ м.}$

Положення ЦМ визначається розрахунком з використанням Loadcase. 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:

$$X_{gi} = \frac{X_{gi}^*}{L} L ; Z_{gi} = \frac{Z_{gi}^*}{H} H.$$

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Таблиця ємності

№ п/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм, м ³	Перехідний коефіцієнт k (Завантаження, %)	Об'єм під вантаж, м ³	Координати центра ваги, м		
					x	Z	
1.	1	Трюм №1	4960,272	90%	4464,245	-18,048	8,065
2.	3	Трюм №2	7219,331	91,42%	6599,913	-35,662	8,085
3.	4	Трюм №3	7173,599	98%	7030,127	-55,275	8,514
4.	5	Трюм №4	7173,601	98%	7030,129	-74,825	8,514
5.	6	Трюм №5	7173,598	98%	7030,126	-94,375	8,514
6.	7	Трюм №6	7171,025	98%	7027,604	-113,92	8,517
7.	1	Трюм №7	6996,370	98%	6856,443	-133,38	8,665
8.	1	Σ об'єм під вантаж	47867,796	<u>96,18%</u>	46038,587	<u>-78,39</u>	<u>8,432</u>
9.	1	Цистерна №1 ПБ	39,255	0	0	-25,705	6,082
10.	1	Цистерна №1 ЛБ	39,255	0	0	-25,705	6,082
11.	1	Цистерна №2 ПБ	472,405	0	0	-40,364	2,000
12.	1	Цистерна №2 ЛБ	472,405	0	0	-40,364	2,000
13.		Цистерна №3 ЛБ	622,254	0	0	-55,355	2,000
14.		Цистерна №3 ПБ	622,254	0	0	-55,355	2,000
15.		Цистерна №4 ЛБ	623,339	0	0	-74,825	2,000
16.		Цистерна №4 ПБ	623,339	0	0	-74,825	2,000

17.	2	Цистерна №5 ЛБ	621,548	0	0	-94,131	2,000
18.	2	Цистерна №5 ПБ	621,548	0	0	-94,131	2,000
19.	2	Цистерна №6 ЛБ	576,386	0	0	-108,51	2,000
20.	2	Цистерна №6 ПБ	576,386	0	0	-108,51	2,000
21.	2	Цистерна №7 ПБ	464,380	0	0	-123,78	2,812
22.	2	Цистерна №7 ЛБ	464,380	0	0	-123,78	2,812
23.		Форпик	1562,283	0	0	-7,12	0,000
24.		Ахтерпик	2956,711	0	0	-171,06	0
25.		Σ об'єм під баласт	11358,127	0	0	0	0
26.		Цистерна 2-го дна №1	508,795	0	0	-19,270	0,000
27.		Цистерна №2	1027,243	0	0	-36,615	0,000
28.		Цистерна №3	1217,922	0	0	-55,381	0,000
29.		Цистерна №4	1227,761	0	0	-74,825	0,000
30.		Цистерна №5	1198,860	89,2%	1069,38	-94,193	0,919
31.		Цистерна №6	855,511	96%	821,290	-113,09	1,102
32.		Цистерна №7	516,040	98%	505,719	-132,59	1,136
33.		Цистерна МВ	351,486	98%	344,456	-154,46	1,094
34.		Σ об'єм під паливо	6903,619	39,7%	2740,849	-114,51	1,04

Перевірка: $W_b = P_b * \gamma_b = 38350 * 1,2 = 46020$

Похибка: $\varepsilon = \frac{46038,587 - 30196,85}{46038,587} \cdot 100\% = 0,344\% < 5\%$

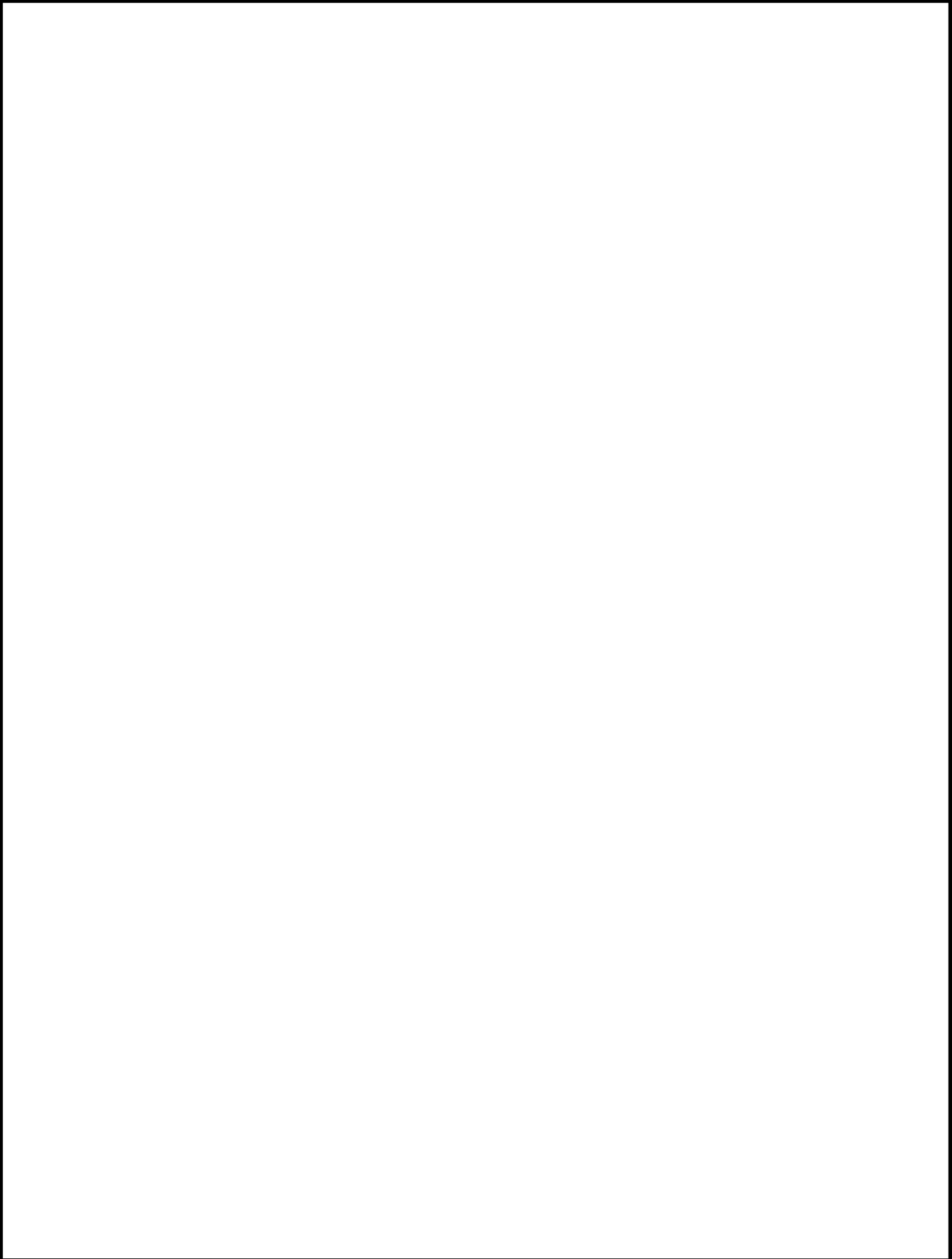
$W_n = P_n * \gamma_n = 2740,849 * 0,9 = 2466,76$

Похибка:

$\varepsilon = \frac{2470,849 - 2466,76}{2740,849} \cdot 100\% = 0,1\% < 5\%$

Проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж, паливо.

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 01. ПЗ. 02	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



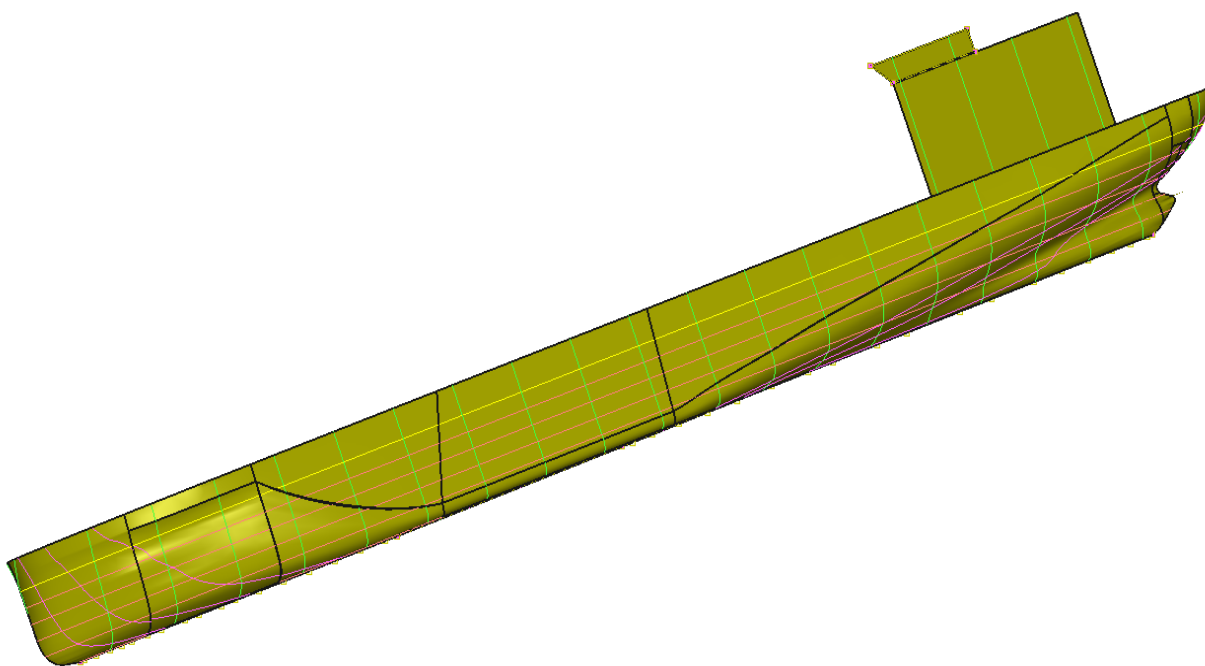
					24.ДБР.135.4111.05.ПЗ.03			
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата				
					Теоретичне креслення та Гідростатичні криві	Літ.	Маса	Масштаб
Студент		Білов В.В.					Арк.	Аркушів
Консульт.		Пашенко Ю.М.				НУК		
Керівник		Пашенко Ю.М.						
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.						

3. ПОБУДОВА ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПЛАВУЧОСТІ ТА ПОЧАТКОВОЇ ОСТІЙНОСТІ

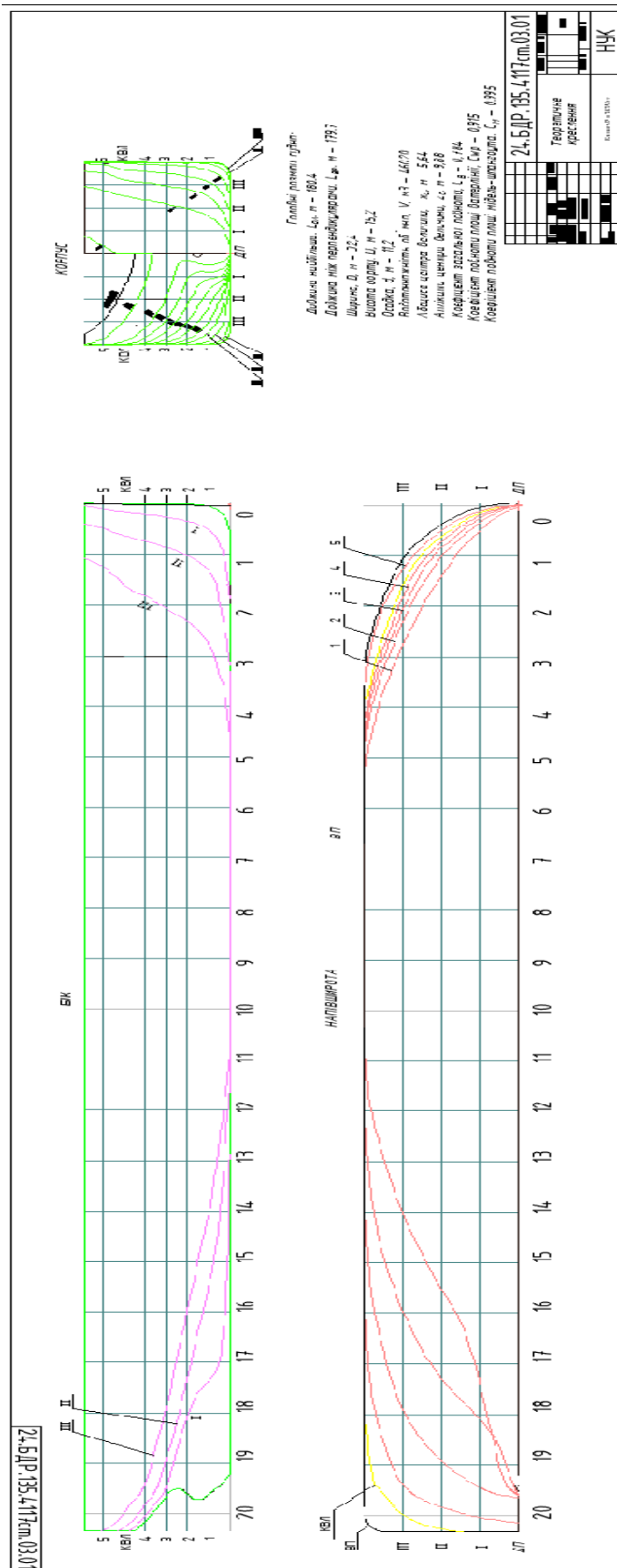
Для побудови теоретичного креслення і розрахунку елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf.

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.



Тривимірна модель балкера створена в програмі Maxsurf



4.2 Розрахунок гідростатичних кривих

Усі характеристики плавучості та початкової остійності судна у прямому положенні можуть бути уявлені у вигляді сукупності кривих, яка називається діаграмою плавучості та початкової остійності або кривими елементів теоретичного креслення.

«Криві елементів теоретичного креслення» – креслення, що показує залежність значень коефіцієнтів повноти, площі ватерлінії, абсциси центра ваги площі ватерлінії, абсциси центра величини, вагової та об'ємної водотоннажності, аплікати центру величини, поздовжнього та поперечного метacentричних радіусів, поздовжнього та поперечного моментів інерції площі ватерлінії, аплікати поперечного та поздовжнього метacentрів від осадки.

Для побудови даного креслення необхідно обчислити значення цих елементів для ряду осадок, які визначаються за наступними інтегралами [1]:

Площа ватерлінії:

$$S = 2 \int_{-L/2}^{L/2} y dx,$$

Абсциса центру ваги площі ватерлінії:

$$x_f = \frac{M_y}{S}$$

Об'ємна водотоннажність:

$$V = \int_0^T \int_{-L/2}^{L/2} y dx dz$$

Вагова водотоннажність:

$$D = V \cdot \gamma \cdot k_{\hat{\alpha}}$$

Абсциса центру величини:

$$x_c = \frac{M_{mid}}{V}$$

Апліката центру величини:

$$z_c = \frac{M_{\ddot{y}}}{V}$$

Поздовжній момент інерції площі ватерлінії:

$$I_y = 2 \int_{-L/2}^{L/2} x^2 y dx$$

Поперечний момент інерції площі ватерлінії:

$$I_x = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{L/2} y^3 dx$$

Поздовжній метацентричний радіус:

$$R = \frac{I_f}{V}$$

Поперечний метацентричний радіус:

$$r = \frac{I_x}{V}$$

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії:

$$c_{wp} = \frac{S}{2L_i y_{\max}}$$

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту:

$$c_m = \frac{\omega_{10}}{2y_{\max} k \Delta T}$$

Коефіцієнт загальної повноти:

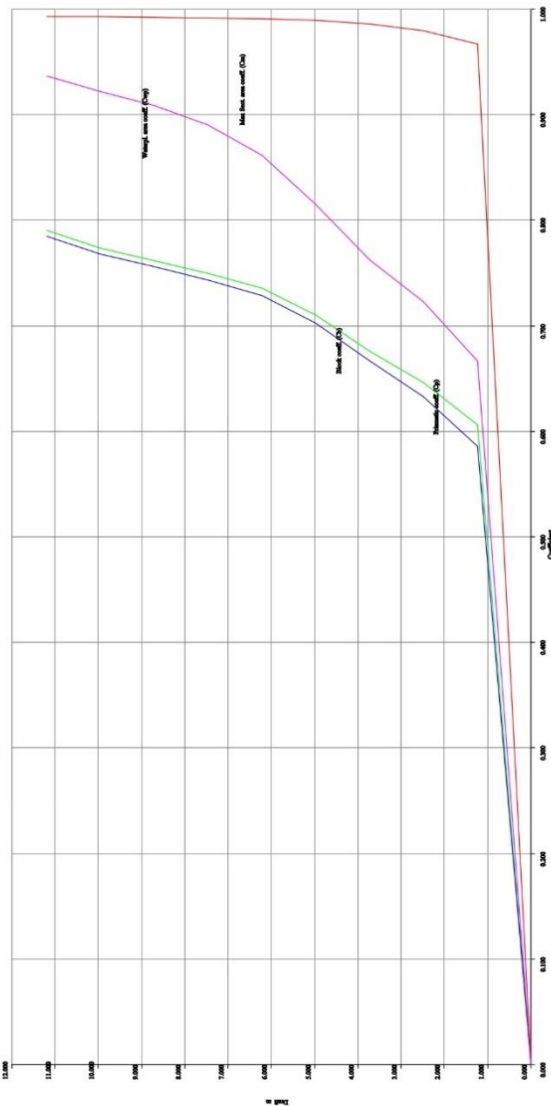
$$c_b = \frac{V}{2y_{\max} L_i T_i}$$

Розрахунок виконується за допомогою програми «Maxsurf».

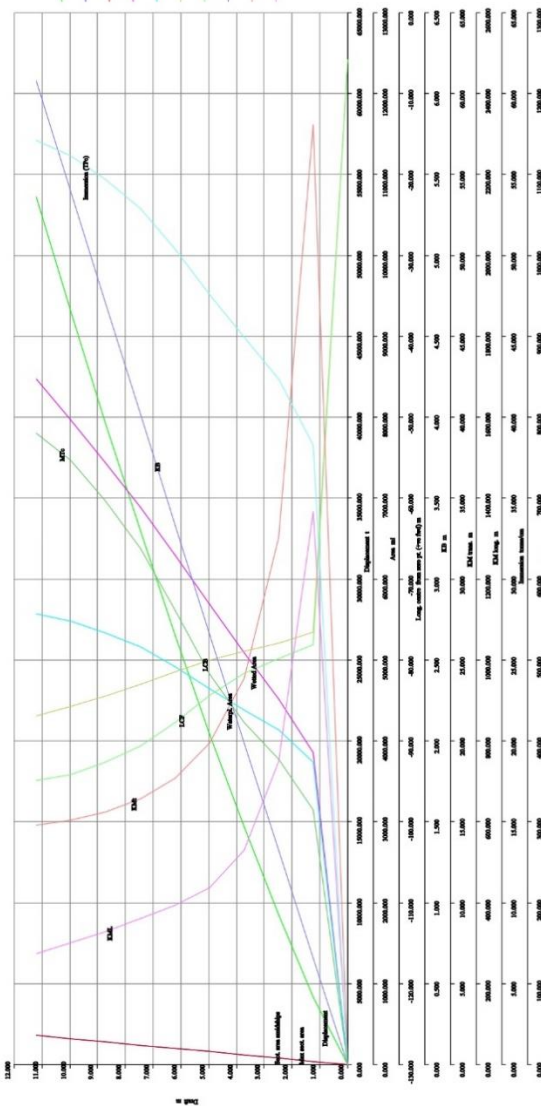
Hy
Da
Fix
Spe

24.ДБР.135.4117ст.03.02

C_p - коефіцієнт повздовжньої повноти
 C_s - коефіцієнт загальної повноти
 C_{sp} - коефіцієнт повноти площі мідель шпангоута
 $C_{сп}$ - коефіцієнт повноти площі ватерлінії



D - масова водотонажність судна
V - об'ємна водотонажність судна
S - площа змоченої поверхні
Xc - абсциса центра величини
Zc - апліката центра величини
Xf - абсциса центра тяжіння площі ватерлінії
r - поперечний метacentричний радіус
R - продольний метacentричний радіус
Zm - піднесення поперечного метacentру над ОЛ
M1_{сг} - момент диферентуючий на 1см



24.ДБР.135.4117ст.03.02									
Гідростатичні криві									
№	Дат.	Р.	Д.	П.	Д.	Д.	Д.	Д.	Д.
Судно	№	В.В.	В.В.	В.В.	В.В.	В.В.	В.В.	В.В.	В.В.
Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити
Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити	Водити
НУК									
Калібр Р-38250 г									
Ім. арт. Матеріал									

					24.ДРБ.135.4117ст.01.ПЗ.04			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
					Удиферентування судна	Лист	Лист	Листов
Студент	Білов В.В.							
Консульт.	Пашенко Ю.М.					НУК		
Керівник	Пашенко Ю.М.							
Зав. Кафедр.	Некрасов В.О.							

4. УДИФЕРЕНТУВАННЯ СУДНА.

Поява диференту впливає на ходові якості, керованість, остійність і заливаємість судна.

Наявність диференту призводить до зменшення осадки носом або кормою, що може привести до слемінгу, втрати швидкості ходу і керованості через оголення частини гвинта і руля [3,4].

Існуючі рекомендації до посадки судна зводяться до такого:

- осадка носом повинна бути не менше $T_n \geq L/40$;
- осадка кормою $T \geq D_{\text{гвинта}}$;
- диферент не повинен перебільшувати $\leq (0,006-0,008)L$;
- диферент на ніс не допускається.

Положення Ц.М. вантажу, палива і судна розраховуються по статичним моментам відносно площин YOZ і YOX. Поздовжній метацентричний радіус R і апліката центра величини Z_C приймаються по кресленням елементів теоретичного креслення для середньої осадки розрахункового варіанту навантаження. При плаванні судна з повним вантажем і з повними запасами необхідно прагнути забезпечення посадки на рівний киль або з незначним диферентом на корму.

В розрахунках будемо приймати, що вантаж, паливо розміщуються симетрично відносно ДП і тому крен судна відсутній.

Для удиферентування судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Розглянемо I стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту, отримуючи дані з Loadcase (табл. 1.7.1).

Таблиця 3.1 – Loadcase для I-го стану навантаження (на наступній сторінці)

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 01. ПЗ. 03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

	Item Nam	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	7708,000	7708,000			-97,640	0,000	9,870	-752609,1	76077,959	0,000	User Sp
2	Equipment	1	3414,000	3414,000			-110,510	0,000	18,600	-377281,1	63500,401	0,000	User Sp
3	Engine	1	911,000	911,000			-160,770	0,000	9,340	-146461,4	8508,740	0,000	User Sp
4	Margin	1	535,000	535,000			-102,020	0,000	12,320	-54580,70	6591,200	0,000	User Sp
5	Total Ligh			12568,000			-105,899	0,000	12,307	-1330932,	154678,30	0,000	
6	Hold 1	90%	4131,907	3718,716	4960,272	4464,245	-18,048	0,000	8,065	-67115,08	29992,717	0,000	User Sp
7	Hold 2	91,42%	6013,703	5497,727	7219,331	6599,913	-35,662	0,000	8,085	-196058,5	44449,872	0,000	User Sp
8	Hold 3	98%	5975,608	5856,096	7173,599	7030,127	-55,275	0,000	8,514	-323695,7	49861,403	0,000	User Sp
9	Hold 4	98%	5975,609	5856,097	7173,601	7030,129	-74,825	0,000	8,514	-438182,4	49861,412	0,000	User Sp
10	Hold 5	98%	5975,607	5856,095	7173,598	7030,126	-94,375	0,000	8,514	-552668,9	49861,393	0,000	User Sp
11	Hold 6	98%	5973,464	5853,995	7171,025	7027,604	-113,922	0,000	8,517	-666899,3	49857,346	0,000	User Sp
12	Hold 7	98%	5827,976	5711,417	6996,370	6856,443	-133,377	0,000	8,665	-761770,7	49491,146	0,000	User Sp
13	Total Carg	96,18%	39873,874	38350,143	47867,796	46038,587	-78,393	0,000	8,432	-3006390,	323375,28	0,000	
14	DB Hold 1	0%	427,388	0,000	508,795	0,000	-19,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
15	DB Hold 2	0%	862,884	0,000	1027,243	0,000	-36,615	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
16	DB Hold 3	0%	1023,055	0,000	1217,922	0,000	-55,381	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
17	DB Hold 4	0%	1031,320	0,000	1227,761	0,000	-74,825	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
18	DB Hold 5	89,2%	1007,042	898,282	1198,860	1069,393	-94,193	0,000	0,919	-84611,94	825,960	42058,854	IMO A.7
19	DB Hold 6	96%	718,629	689,884	855,511	821,290	-113,087	0,000	1,102	-78017,24	760,594	24708,572	User Sp
20	DB Hold 7	98%	433,474	424,804	516,040	505,719	-132,588	0,000	1,136	-56323,86	482,578	0,000	Maximu
21	ER DB	98%	295,248	289,343	351,486	344,456	-154,463	0,000	1,094	-44692,81	316,566	0,000	Maximu
22	Total Fuel	39,7%	5799,040	2302,313	6903,619	2740,849	-114,513	0,000	1,036	-263645,8	2385,698	66767,426	
23	Forepeak	0%	1601,340	0,000	1562,283	0,000	-7,120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
24	DS Hold 1 P	0%	40,265	0,000	39,283	0,000	-25,705	-13,800	6,082	0,000	0,000	0,000	Maximu
25	DS Hold 1	0%	40,265	0,000	39,283	0,000	-25,705	13,800	6,082	0,000	0,000	0,000	Maximu
26	DS Hold 2 P	0%	484,215	0,000	472,405	0,000	-40,364	-14,545	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
27	DS Hold 2	0%	484,215	0,000	472,405	0,000	-40,364	14,545	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
28	DS Hold 3 P	0%	637,810	0,000	622,254	0,000	-55,355	-14,962	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
29	DS Hold 3	0%	637,810	0,000	622,254	0,000	-55,355	14,962	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
30	DS Hold 4 P	0%	638,922	0,000	623,339	0,000	-74,825	-14,974	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
31	DS Hold 4	0%	638,922	0,000	623,339	0,000	-74,825	14,974	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
32	DS Hold 5 P	0%	637,086	0,000	621,548	0,000	-94,131	-14,937	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
33	DS Hold 5	0%	637,086	0,000	621,548	0,000	-94,131	14,937	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
34	DS Hold 6 P	0%	590,796	0,000	576,386	0,000	-108,510	-14,496	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
35	DS Hold 6	0%	590,796	0,000	576,386	0,000	-108,510	14,496	2,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
36	DS Hold 7 P	0%	475,989	0,000	464,380	0,000	-123,797	-13,800	2,812	0,000	0,000	0,000	Maximu
37	DS Hold 7	0%	475,989	0,000	464,380	0,000	-123,797	13,800	2,812	0,000	0,000	0,000	Maximu
38	Aftpeak	0%	3030,628	0,000	2956,711	0,000	-171,064	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Maximu
39	Total Balla	0%	11642,137	0,000	11358,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
40	Supply	1	317,000	317,000			-166,180	0,000	16,940	-52679,06	5369,980	0,000	User Sp
41	Total Sup			317,000			-166,180	0,000	16,940	-52679,06	5369,980	0,000	
42	Total Loa			53537,456	66129,596	48779,436	-86,923	0,000	9,074	-4653648,	485809,26	66767,426	
43	FS correct								1,247				
44	VCG fluid								10,321				

Таблиця 3.2 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса Р, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\dot{x}_i}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\dot{z}_i}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	12568	-105,899	12,307	-1330932,43	154678,3
2	Вантаж	38350	-78,393	8,432	-3006390,83	323375,289
3	Постачання	317	-166,180	16,940	-52679,061	5269,98
4	Паливо	2302	-114,513	1,036	-263645,878	2385,698
	Σ					
Водотоннажність повна		53537	-86,923	9,074	-4653648,21	485809,267

Удиферентування проекту виконується у середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: І стан навантаження 100% вантажу, 100% запасів, 0 % баласту. На рис 3.1 представлена візуалізація посадки судна, а у табл. 1.12 – параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (табл.1.7.3).

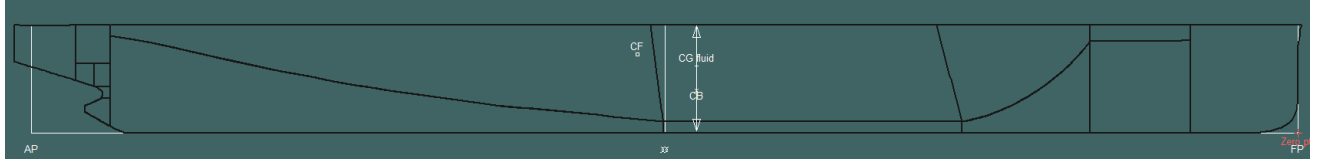


Рисунок 3.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

Таблиця 3.3.3 – Посадка судна

Осадка розрахункова (на міделі), м	11,2
Водотоннажність вагова, т	53537
Крен на правий борт, град	0,0
Осадка носом (на носовому перпендикулярі), м	11,2
Осадка кормою (на кормовому перпендикулярі), м	11,2
Осадка в центрі ваги площі ватерлінії, м	11,2
Диферент (позитивний на корму), м	0,000
Довжина ватерлінії, м	183,396
Ширина ватерлінії, м	32,435
Площа змоченої поверхні, м ²	8468,268
Площа ватерлінії, м ²	5570,365
Коефіцієнт поздовжньої гостроти	0,790
Коефіцієнт загальної повноти	0,785
Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	0,993
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	0,936
Відстань ЦВ судна від міделя (абсциса центру величини (позитивна в ніс)), м	-86,914
Відстань ЦТ площі ватерлінії від міделя (абсциса центру ваги площі ватерлінії), м	-94,866
Апліката центру величини, м	6,070
Піднесення ЦТ судна на ОЛ (апліката центру ваги), м	10,321
Поперечний метацентричної радіус, м	8,718
Поздовжній метацентричної радіус, м	268,032
Поперечна метацентрична висота, м	4,466
Поздовжня метацентрична висота, м	263,780
Піднесення поперечного метacentра над ОЛ (апліката поперечного метacentра), м	14,788

Піднесення поздовжнього метацентра над ОЛ (апліката поздовжнього метацентра), м	274,101
Число тонн на 1 см опади, т / см	57,096
Момент, диферент на 1 см, т м / см	782,822
Момент, що кренить на 1 градус, т м / град	4173,259
Максимальний нахил палуби, град	0,0000
Кут диферента (позитивний на корму), град	0,0000

В результаті отримуємо диферент 0,000 м.

Таким чином $X_c = -86,914$; $X_g = -86,914$

Згідно даним табл.1.7.3 розрахунковий стан має такі характеристики:

$T_n = 11,2$ – осадка носом, м;

$T_k = 11,2$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0,000$ – диферент, м;

Для удиферентування потрібно виконання наступних умов:

Диферент не повинен перебільшувати $\Delta T \leq (0,006...0,008)L$ – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води:

- $\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 179,7 = 1,44$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0,000 < 1,44$, умова задовольняє;

- $T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{179,7}{40} = 4,49$ м – умова відсутності слемінгу: $11,2 > 4,4$, умова задовольняє;

- $T_k \geq d_{26} - d_{26} = T \cdot 0,7 = 7,84$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $11,2 > 7,84$ – умова задовольняє.

- $T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $11,2 = 11,2$ – умова задовольняє.

Таким чином $X_c = -86,749$; $X_g = -86,749$

Отже, проект у повному вантажі удиферентовано.

					24.ДРБ.135.4117ст.03.ПЗ.05											
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.					Лист		Лист	Листов			
Студент		Білов В.В.								НУК						
Консульт.		Пашченко Ю.М														
Керівник		Пашченко Ю.М.														
Зав. Кафедр.		Некрасов В.О.														

5. Перевірка вимог РСУ до остійності судна.

За допомогою програми MaxSurf розрахуємо діаграму статичної остійності судна.

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,789	-1,660	-0,861	0,000	0,861	1,660	1,789	1,593	1,175	0,604	-0,044	-0,719	-1,381	-1,993	-2,521
2	Area under GZ curv	34,889	17,210	4,2393	0,0000	4,2421	17,198	34,928	52,015	66,019	75,003	77,844	74,032	63,508	46,571	23,951
3	Displacement t	53536	53537	53537	53537	53537	53537	53538	53538	53538	53538	53538	53537	53541	53536	53538
4	Draft at FP m	12,151	11,332	11,187	11,185	11,187	11,335	12,152	13,730	16,177	20,042	27,391	48,649	n/a	33,859	12,553
5	Draft at AP m	11,456	11,046	11,128	11,191	11,128	11,043	11,457	12,259	13,457	15,336	18,911	29,320	n/a	11,791	1,470
6	WL Length m	183,41	183,39	183,39	183,39	183,39	183,39	183,41	183,63	183,74	183,48	182,92	182,07	180,93	179,50	177,68
7	Beam max extents	25,665	29,277	32,935	32,435	32,935	29,278	25,664	23,377	19,966	17,661	16,276	15,531	15,295	15,531	16,276
8	Wetted Area m²	9579,6	9045,0	8472,7	8468,3	8472,7	9045,0	9579,9	9846,9	9959,5	10012,	10046,	10069,	10073,	10065,	10047,
9	Waterpl. Area m²	4066,8	4896,9	5630,3	5570,4	5630,3	4896,8	4066,7	3545,8	3093,9	2786,0	2602,7	2515,3	2518,5	2607,4	2777,4
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,805	0,796	0,792	0,790	0,792	0,796	0,805	0,815	0,821	0,827	0,832	0,837	0,843	0,850	0,859
11	Block coeff. (Cb)	0,627	0,628	0,642	0,785	0,642	0,627	0,627	0,615	0,664	0,714	0,759	0,801	0,826	0,786	0,749
12	LCB from zero pt. (	-86,91	-86,92	-86,92	-86,92	-86,92	-86,91	-86,91	-86,89	-86,88	-86,86	-86,84	-86,83	-86,82	-86,83	-86,84
13	LCF from zero pt. (	-90,20	-92,07	-94,15	-94,86	-94,15	-92,08	-90,19	-88,98	-88,68	-88,69	-88,84	-89,18	-89,89	-91,05	-91,93
14	Max deck inclinatio	30,000	20,000	10,000	0,0019	10,000	20,000	30,000	40,001	50,002	60,002	70,002	80,001	90,000	99,997	109,99
15	Trim angle (+ve by	-0,220	-0,091	-0,018	0,0019	-0,018	-0,092	-0,220	-0,467	-0,863	-1,494	-2,691	-6,115	-90,00	-6,974	-3,515

Stability Calculation - KYIV Á232

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: D:\0 ÒÀÊÓÙÈÀ\ÄËÏÊÏËÊÊ\Äçaiââ\Fin\1\KYIV Á232 (Medium precision, 61 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: MS; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,10000(1,000); Trim%(LCG-TCG): 0,10000(1,000); Heel%(LCG-TCG): 0,10000(1,000)

Loadcase - Loadcase 1

Damage Case - Intact

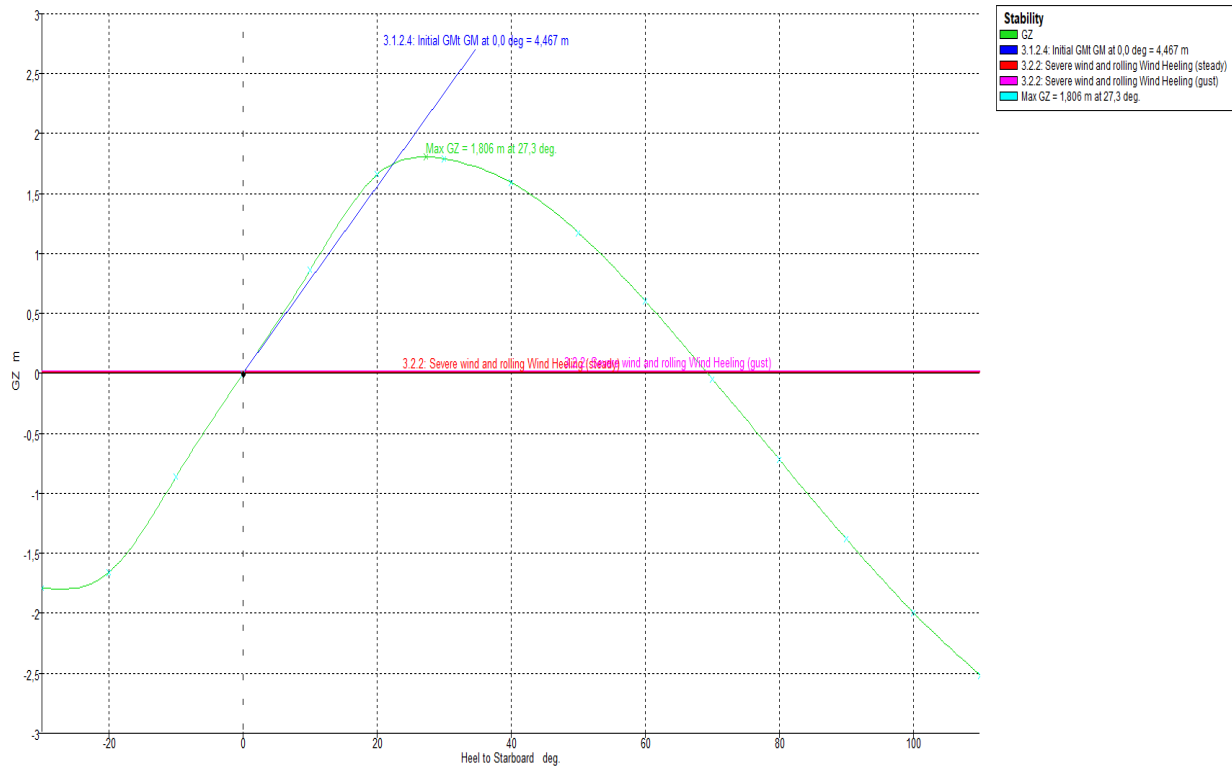
Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	53666,000	53666,000			8,277	0,000	10,080	0,000	User Specified
Total Loadcase			53666,000	0,000	0,000	8,277	0,000	9,074	0,000	
FS correction								1,247		
VCG fluid								10,321		

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.05					Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						



Перевірка остійності робиться для 1-го варіанту навантаження проекту, (100% вантажу та 100% запасів)

Розрахунок амплітуди хитавиці: $\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S}$

$$K=1 \quad X_1=0,85 \left(\text{т.к. } \frac{B}{d} = \frac{32,4}{11,2} = 2,89 \right) \quad X_2=1 \quad (C_b = 0,784)$$

$$r = 0,73 + 0,6(zg-d)/d = 0,659$$

$$C = 0,373 + 0,023 \frac{B}{d} - 0,043 \frac{L}{100} = 0,373 + 0,023 \frac{32,4}{11,2} - 0,043 \frac{179,7}{100} = 0,362$$

$$\tau = 2 \cdot C \cdot B / h^{1/2} = 2 \cdot 0,362 \cdot 32,4 / 2,707^{1/2} = 14,28 \text{ c}$$

$$S = 0,0875$$

$$\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (0,659 \cdot 0,0875)^{1/2} = 22,25^\circ$$

Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру (а) та перекидального моменту (b):

$$A_v = \sum S_i = 1284,584 \text{ м}^2$$

$$Z_B = \frac{\sum S_i z_i}{\sum S_i} = 17,831 \text{ м}$$

$$Z_v = Z_B + T/2 = 17,831 + 11,2/2 = 12,231 \text{ м}$$

$$\text{Тиск повітря} \quad P_v = 504 \text{ Па}$$

$$D = 53666 \text{ т -водотоннажність.}$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.05	Арх.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ прискорення вільного падіння.



Рис 5.1

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 1284,564 \cdot 12,231}{1000 \cdot 9,81 \cdot 53666} = 0,0155м$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0155 = 0,02м$$

Таблиця 5.1

№ елементів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сума
Площа S_i , $м^2$	1142,4	82,1	74,97	70,29	70,29	70,29	30,47	13,89	23,40	1284,564
Z_i	2,75	4,125	6,845	9,625	12,375	15,125	17,875	20,625	9,49	98,835
Момент $S_i Z_i$, $м^3$	3141,6	338,66	513,16	676,54	869,83	1063,1	544,65	286,48	222,09	7656,11

Крітерій погоди $K = \frac{b}{a} = \frac{1,3652}{0,472} = 2,892 \geq 1$

Таблиця 5.2

Величина	Проект	Регістр
K	2,892	$K \geq 1$
$l_{\max}$, м	1,789	$l_{\max} \geq 0,2$
$\theta_{\max}$	31,0°	$\theta_{\max} \geq 30^\circ$
$\theta_{зак}$	68,9°	$\theta_{зак} \geq 60^\circ$
h	2,707 м	0,15 м
S_{30}	0,3253м. рад	0,055м. рад
S_{40}	0,5026м. рад	0,090м. рад
$S_{40} - S_{30}$	0,1773м. рад	0,03м. рад

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.05	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Судно відповідає усім вимогам Регістру судноплавства України за остійністю.

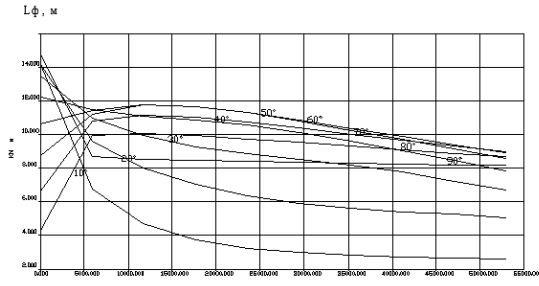


Рис.1 Плечі остійності форми

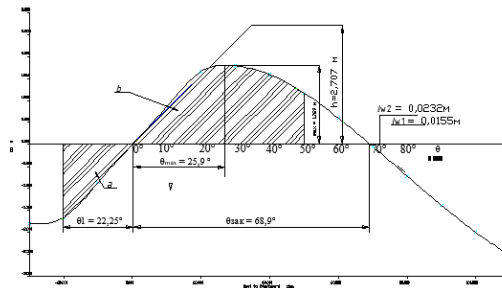


Рис.2. Діаграма статичної остійності

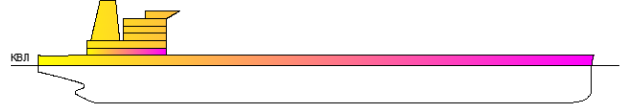


Рис.3 Схема парусності

- Розрахунок моменту опору корпусу:
 $\theta_1 = 109.6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{V \cdot S}$
 $K = 1.00 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85 \cdot (\text{тис м}) \cdot B \cdot d = 32.411 \cdot 2 = 2.891 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{тис м}) \cdot C_b = 0.784$
 $Z_b = 5.58$
 $r = 0.73 + 0.023 \cdot \theta_1 \cdot d = 0.73 + 0.023 \cdot 11.231 \cdot 1.2 = 0.659$
 $C = 0.273 + 0.023 \cdot \theta_1 \cdot d = 0.273 + 0.023 \cdot 32.411 \cdot 2 = 0.273 + 0.023 \cdot 64.822 = 1.428$
 $r = 2 \cdot C \cdot \theta_1 \cdot B = 2 \cdot 0.659 \cdot 32.411 \cdot 2 = 86.28$
 $S = 0.0875$
 $\theta_1 = 109.6 \cdot 0.85 \cdot 1 - 0.0875 = 22.25^\circ$
- Розрахунок критичного моменту (θ_2) в залежності від танку опору і перевертального моменту (θ_2):
 $\theta_2 = 25.1 + 124.564 \cdot \theta_1$
 $ZB = 17.811 \text{ м}$
 $ZV = ZB \cdot d/2 = 17.811 \cdot 11.22 = 12.231 \text{ м}$
Тиск опору $P_V = 204 \text{ тис}$
 $g = 9.81 \text{ м/с}^2$
 $D = 51880 \text{ т} \cdot \text{модульність судна}$
 $\theta_2 = 1 \cdot (P_V \cdot ZV \cdot \theta_1) / (1000 \cdot g \cdot D) = 204 \cdot 124.564 \cdot 12.231 / (1000 \cdot 9.81 \cdot 51880) = 0.0155 \text{ м}$
 $\theta_2 = 1 \cdot 2 \cdot \theta_1 = 1.2 \cdot 22.25 = 26.7^\circ$
- Критерій остійності:
 $K = \theta_2 \geq 1$
 $\theta_1 = 0.472 \text{ м рад}$
 $\theta_2 = 1.3652 \text{ м рад}$
 $K = \theta_2 = 1.3652 / 0.472 = 2.892 \geq 1$

Згідно до вимог Правил Регістру до остійності

Значення	Дані судна	Регістр
K	2.791	K ≥ 1
θ ₁ м	1.028	θ ₁ ≥ 0.2
θ ₂	25.9°	θ ₂ ≥ 25°
θ ₃	68.9°	θ ₃ ≥ 60°
h, м	2.707	h ≥ 0.15
S ₁₀	0.3233 м рад	θ ₁ ≥ 0.055 м рад
S ₁₀	0.5026 м рад	θ ₂ ≥ 0.09 м рад
S ₁₀ - S ₁₁	0.1773 м рад	θ ₃ ≥ 0.03 м рад

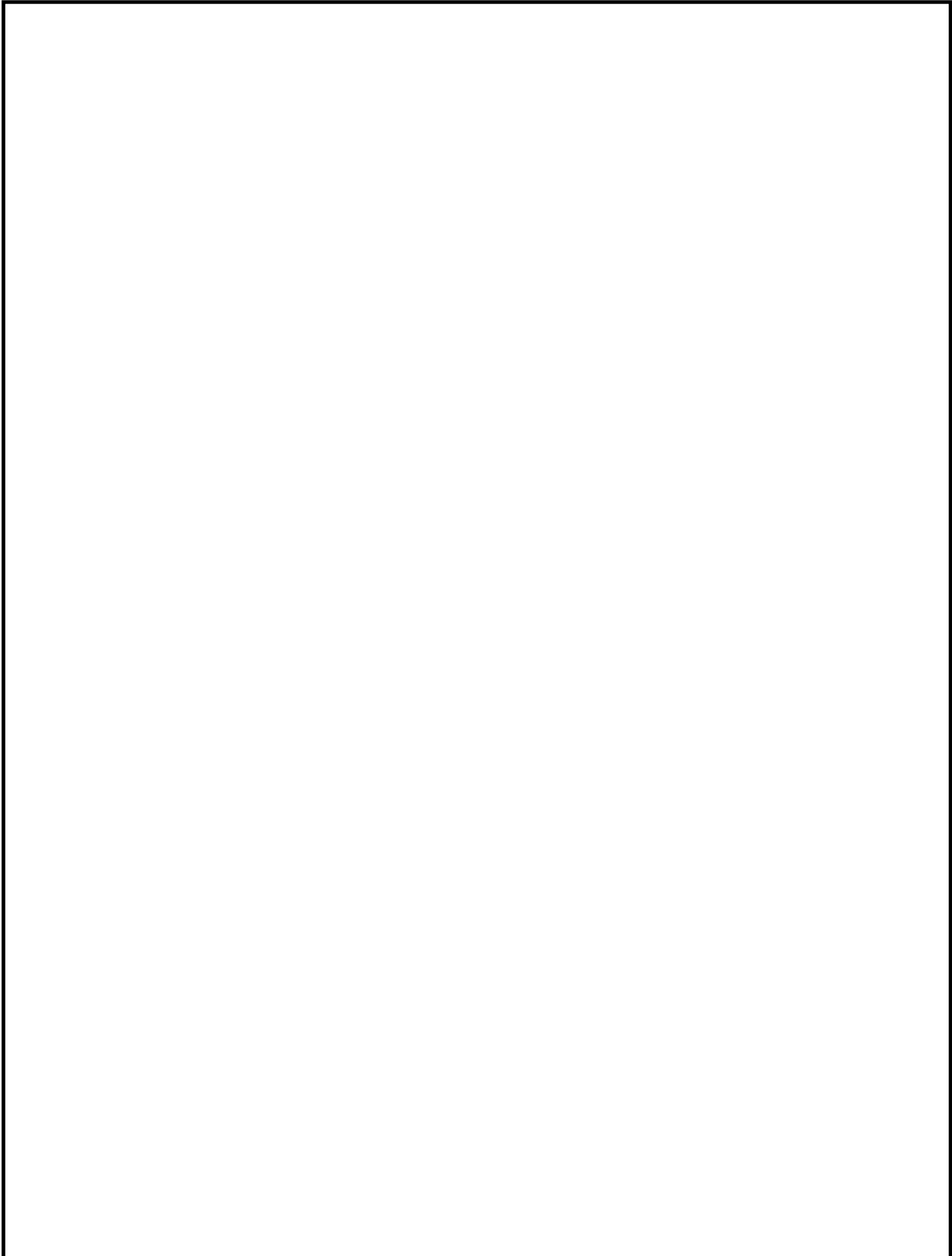
Висновок: Спроектване судно відповідає всім вимогам Регістру України

24.ДБР.135.4117ст.03.03.03	
Діаграми остійності	неушкодженого судна

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.05

Арк.



					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06								
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис.№	Дата									
					Набір корпусу за Правилами Регістра				Літ.	Маса.	Масштаб		
Студент	Білов В.В.										Арк	Аркушів	
Консульт.	Шарун Г. В.								НУК				
Керівник	Пашенко Ю.М.												
Зав. кафедр.	Некрасов В.О												

6. Набір корпусу за Правилами Регістра

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу навалочного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» на клас КМ Л31А1 balker.[2]

КМ Л31А1– 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.

А1 – відноситься до категорії суден з високим ступенем автоматизації, яка дозволяє експлуатацію головного двигуна без постійної присутності обслуговуючого персоналу в машинному відділенні та в центральному пункті управління

6.1. Головні розміри судна

Таблиця №4.1

№	Назва величини	Позначення величини	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	179,7
2	Ширина судна на міделі	B	м	32,4
3	Висота борту	D	м	15,2
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	11,2
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_{ϕ}	-	0,784
6	Швидкість судна	V_C	вуз	15,4

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

- відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18$, $\frac{179,7}{15,2} = 11,82$;
- відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2,5$, $\frac{32,4}{15,2} = 2,13$;
- відношення осадки судна до висоти борту: $0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8$, $\frac{11,2}{15,4} = 0,73$;
- коефіцієнт загальної повноти $C_{\phi} \geq 0,6$; $0,784 > 0,6$.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Відношення головних розмірів не виходить за межі діапазонів, що розглядаються Правилами Регістру.

6.2. Архітектурно-конструктивний тип судна

Судно однопалубне, з кормовим розташуванням машинного відділення та жилої надбудови, з подвійним дном, з одинарними бортами, з бортовими підпалубними та скуловими цистернами. Має 8 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°.

У дослідницькій частині верхньою палубою є нахилений лист, що в попередньому випадку входив до складу підпалубної цистерни.

6.3. Вибір системи набору перекрить корпусу судна

Система набору корпусу судна змішана, тобто днищеві і палубні перекриття набирається за повздовжньою 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.

6.4. 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.

«Характеристики сталей»

Таблиця №4.2

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

$$\sigma_n = \frac{235}{n}, \tau_n = 0,57 * \sigma_n, \text{ МПа.}$$

6.5. Вибір шпациї

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

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

де $L=180,4$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо:

$$a_0 = 0,002 * 179,7 + 0,48 = 0,84 \text{ м.}$$

Прийmemo: $a_0=900$ мм – поперечна шпация;

$a_0=900$ мм – повздовжня шпация.

6.6. Викреслення обводів мідель-шпангоута

Лінія днища підйому не має.

Радіус округлення скули визначаються за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{B}{0,86}} = \sqrt{\frac{32,4}{0,86}} = 6,138 \text{ м.}$$

де $B=32,5$ – ширина судна, м.

Приймаю $R=2$ м

Висота подвійного дна розраховується за формулою [6]:

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 * B + 3,5 * \frac{d}{L} = \frac{179,7 - 40}{570} + 0,04 * 32,4 + 3,5 * \frac{11,2}{179,7} = 1,759$$

м.

Прийmemo $h_{II}=2$ м.

Ширина горизонтального кіля визначається за формулою:

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

Маємо: $b_k = 800 + 5 * 179,7 = 1698,5$, мм.

Прийmemo: $b_k = 2,0$ м.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розбивка судна по шпациям

Таблиця №4.3

	Кількість шпаций	Розмір шпация
Форпик	18	600
Трюм №1	35	700
Трюм №2	30	900
Трюм №3	30	900
Трюм №4	30	900
Трюм №5	30	900
Трюм №6	30	900
Трюм №7	30	900
Машинне відділення	36	900
Ахтерпик	17	600

6.7. 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 [5]:

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

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. №4.4.); $T=24$ – період служби конструкції, роки.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

«Розрахунок запасу на знос та корозію»

Таблиця №4.4

Елементи конструкції корпусу	I , 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
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

6.8. Визначення згинальних моментів

Розрахункова висота хвилі визначається за формулою:

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

де $L=179,7$ м – довжина судна між перпендикулярами.

Маємо:

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{(3/2)} = 10,75 - \left(\frac{300 - 179,7}{100} \right)^{(3/2)} = 9,4 \text{ м,}$$

Згинальний момент на тихій визначається за формулою:

$$M_{sw} = \pm 76 * C_w * B * L^2 * (C_b + 0,7) * 10^{-3} \text{ кН·м,}$$

де C_w – розрахункова висота хвилі, м; $B=32,4$ – ширина судна, м; $L=180,4$ м – довжина судна між перпендикулярами; $C_b=0,784$ – коефіцієнт загальної повноти судна.

Маємо:

$$M_{sw} = \pm 76 * C_w * B * L^2 * (C_b + 0,7) * 10^{-3} = 76 * 9,4 * 32,4 * 179,7^2 * (0,784 + 0,7) * 10^{-3} = 1109217$$

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

$$M_w = 190 C_w B L^2 C_b * 10^{-3} = 190 * 9,4 * 32,4 * 179,7^2 * 0,784 * 10^{-3} = 1465003$$

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

$$M_w = - 110 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = - 110 * 9,4 * 32,4 * 179,7^2 * (0,784 + 0,7) 10^{-3} = - 1605446$$

Сумарний згинальний момент:

- при прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_w + M_{sw}| = |- 1605446 + 1109217| = 2714663 \text{ кН·м,}$$

- при перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_w + M_{sw}| = |1465003 + 1109217| = 2574220 \text{ кН·м,}$$

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

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначимо допустимі напруження:

$$\sigma_{кор} = \frac{175}{0,68} = 257,4 \text{ МПа,}$$

Маємо:

$$W_{кор} = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_{кор}} * 10^{-3} = \frac{2714663}{257,4} * 10^{-3} = 10,55, \text{ м}^3$$

Момент опору корпусу судна, який вимагається за Правилами, визначається за формулою:

$$W_{min} = C_W * B * L^2 * (C_b + 0,7) * n = 9,4 * 32,4 * 179,7^2 * (0,784 + 0,7) * 0,68 = 9,92 \text{ м}^3$$

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

$$I_{порт} = 3 * C_W * B * L^3 * (C_b + 0,7) = 3 * 9,4 * 32,4 * 179,7^3 * (0,784 + 0,7) = 78,68 \text{ м}^4$$

Відстань нейтральної вісі (н. в.) від основної площини (ОП) визначимо за формулою:

$$e = 0,4 * D' = 6,6 \text{ м,}$$

де $D' = D + h_{ком} = 15,2 + 1,2 = 16,4$ – висота борту судна-проекта з урахуванням висоти комінгса люка.

Максимальні діючі напруження у днищі і у палубі визначаються за формулами:

$$I_0 = W_d * (D - e) = 10,66 * (16,4 - 6,6) = 104,47 \text{ м}^4,$$

– для днища:

$$\sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} * Z_{дн}}{I_0} * 10^{-3} = \frac{2574220 * 6,6}{104,47} * 10^{-3} = 162,63 \text{ МПа,}$$

– для верхньої палуби:

$$\sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} * Z_{дн}}{I_0} * 10^{-3} = \frac{2714663 * 6,6}{104,47} * 10^{-3} = 171,5 \text{ МПа}$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

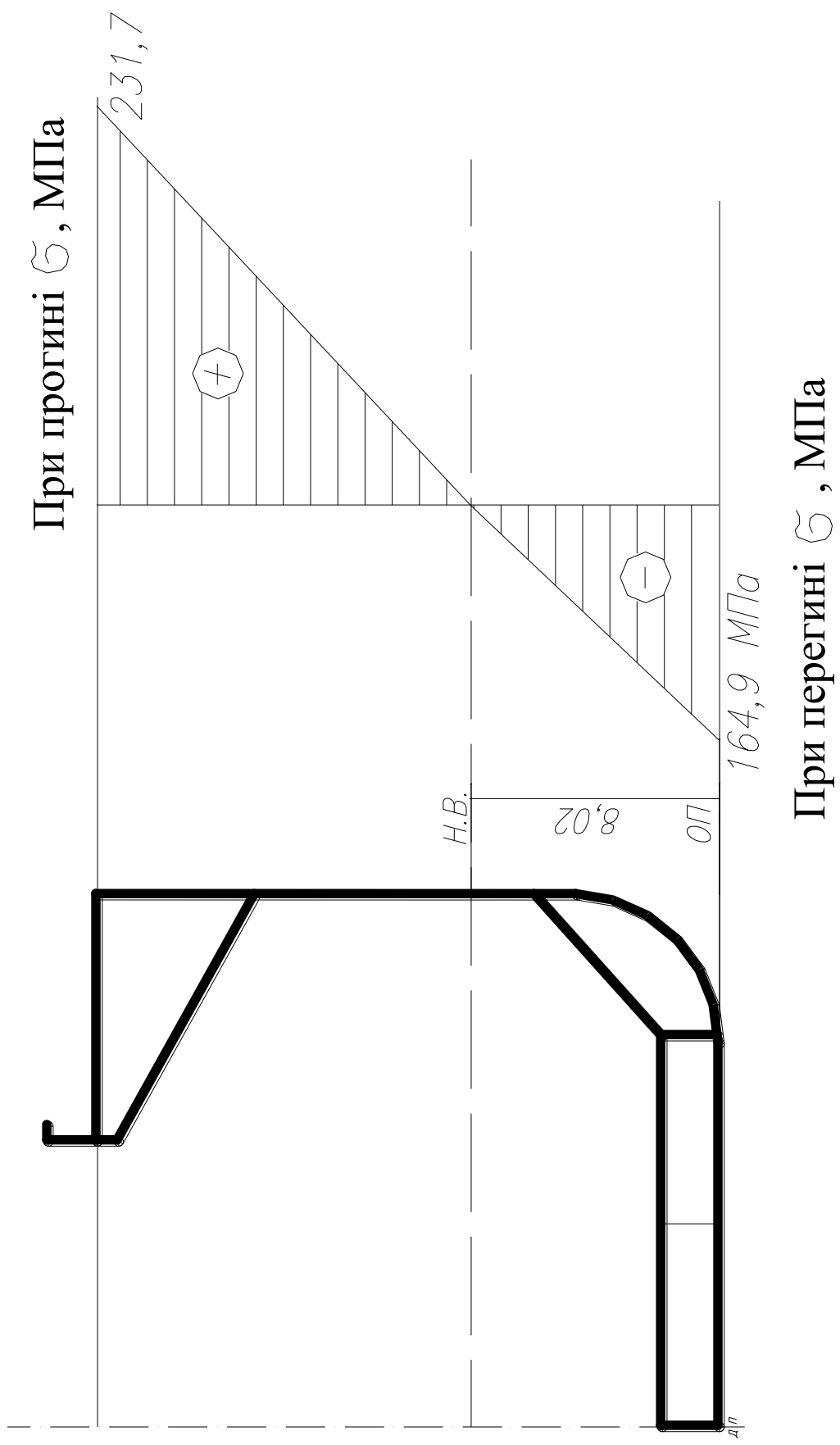


Рис.4.1.Схема напружень, які діють у днищі і палубі

6.9. Визначення розрахункових навантажень

6.9.1. Зовнішні навантаження на корпус судна

З боку моря зовнішні навантаження на корпус судна визначаються величиною статичного тиску P_{st} , кПа, та величиною тиску, який сприяє корпусу судна переміщенням відносно профілю хвилі P_w , кПа.

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

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

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 $Z_i=d=11,2 \text{ м}$.

$$P_{st} = \rho * g * Z_i = 1,025 * 9,81 * 11,2 = 112,6 \text{ кПа}.$$

Хвильовий тиск

– для точок прикладання навантаження на рівні ГВЛ

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

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

де $V_0=15,4$ – специфікаційна швидкість судна, вузли; $k_x=0,8$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя; $x_1=107,3$ – відстань розглядуваного поперечного перерізу від кормового перпендикуляра, м.

$$\text{Маємо: } a_x = k_x \left(1 - 2 * \frac{x_1}{L}\right) = 0,5 \left(1 - 2 * \frac{107,3}{179,7}\right) = 0,001$$

Приймаю $a_x = 0,267$.

$$a_v = 0,8 V_0 \frac{\left(\frac{L}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = 0,8 * 15,4 \frac{\left(\frac{179,7}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{179,7}} + 1,5 = 2,033$$

Маємо: $a_v * a_x = 2,032 * 0,267 = 0,54$. Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6, тому приймаємо $a_v \cdot a_x = 0,6$.

Отримаємо:

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{w0} = p \cdot g \cdot \frac{C_w}{2} \cdot a_v \cdot a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{9,4}{2} \cdot 0,6 = 28,3 \text{ кПа.}$$

– Для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії

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

При $Z_i = d = 11,2$ м: $P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 28,3 - 1,5 \cdot 9,4 \cdot \frac{11,2}{11,2} = 14,2 \text{ кПа.}$

– Для точок прикладання навантаження вище ватерлінії

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

При $Z_i = D - d = 15,2 - 11,2 = 4$ м:

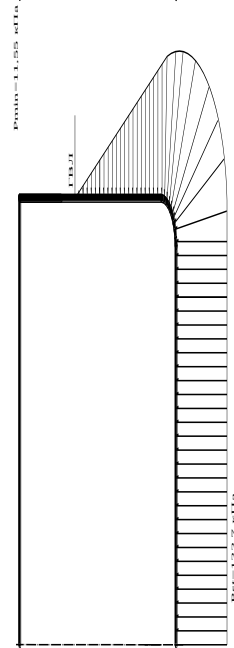
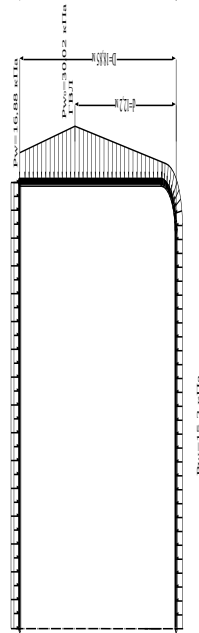
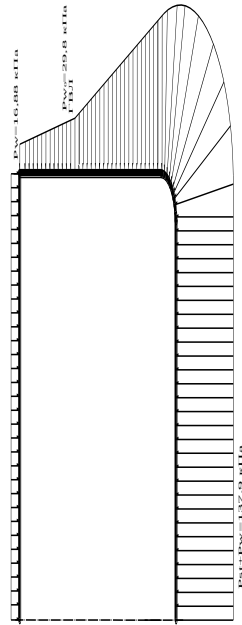
$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i = 28,3 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 4 = 20,29 \text{ кПа.}$$

$$P_w \geq P_{\min}, P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 = 0,03 \cdot 179,7 + 5 = 10,4 \text{ кПа.}$$

Тиск на днищеву обшивку судна визначимо за формулою:

$$P = P_{\text{ст}} + P_w = 112,6 + 20,29 = 132,89 \text{ кПа.}$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Зм.	Архуш	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06

Арк.

6.9.2. Розрахунковий тиск від вантажу

Розрахункове прискорення у вертикальному напрямі визначимо за формулою:

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

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

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{(1/3)} * g = 0,2 \left(\frac{100}{179,7} \right)^{(1/3)} * 9,81 = 1,61 \text{ м/с}^2,$$

T_k – періоди кильової хитавиці, с:

$$T_k = \frac{0,8 \sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8 \sqrt{179,7}}{1 + 0,4 \frac{15,4}{179,7} \left(\frac{179,7}{10^3} + 0,4 \right)} = 10,51 \text{ с},$$

де $V_0 = 15,4$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L * 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 179,7 * 10^{-2}} = 0,082 \text{ рад – розрахунковий кут диференту}$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 * \psi * x_0 = \left(\frac{2 * 3,14}{10,51} \right)^2 * 0,082 * 9,35 = 0,458 \text{ м/с}^2,$$

$x_0 = 1,85 + 7,5 = 9,35$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна;

$h = 0,07 * B = 0,07 * 32,4 = 2,268$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна

T_b – періоди бортової хитавиці:

$$T_b = \frac{c * B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 * 32,4}{\sqrt{2,268}} = 17,21 \text{ с}$$

Де $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт

Розрахунковий тиск на настил другого дна від вантажу

Розглянемо т. №1

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 * L * 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 * 179,7 * 10^{-2}} = 0,316 \text{ рад – розрахункові кути крену}$$

$$a_{bz} = \left(\frac{2\pi}{T_b} \right)^2 * \theta * y_0 = \left(\frac{2 * 3,14}{17,21} \right)^2 * 0,316 * 11,7 = 0,49 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 11,7$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{bz}^2} = \sqrt{1,61^2 + 0,457^2 + 0,4 \cdot 0,49^2} = 1,7 \text{ м/с}^2,$$

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

$$\alpha = 0^\circ$$

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_\epsilon = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,4 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1,7}{9,81} \right) \cdot (13,2) = 212,7 \text{ кПа.}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{вин} = 7,5 \cdot h_{П.T} = 110,2, \text{ кПа.}$$

Де $h_{П.T} = D - h_{II} + \Delta z = 15,2 - 2 + 1,5 = 14,7 \text{ м}$ – відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{вин} = 7,5 \cdot 15,2 = 114 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g \cdot (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (13,2 + 1,5) = 110,86 \text{ кПа,}$$

де $z_i = 15,2 - 2 = 13,2 \text{ м}$ – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до другого дна

Тиск аварійного затоплювання:

$$P_{a.3} = 10,5(d-h) = 10,5(11,2-2) = 96,6 \text{ кПа кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск на друге дно $P = 212,7 \text{ кПа}$

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

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 179,7 \cdot 10^{-2}} = 0,315 \text{ рад – розрахункові кути крену}$$

$$a_{bz} = \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{17,24} \right)^2 \cdot 0,315 \cdot 11,7 = 0,49 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 11,7 \text{ м}$ – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{bz}^2} = \sqrt{1,61^2 + 0,457^2 + 0,4 \cdot 0,49^2} = 1,7 \text{ м/с}^2,$$

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

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_\sigma = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,4 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,7}{9,81} \right) \cdot (13,2) = 141,87 \text{ кПа.}$$

Приймаю розрахунковий тиск на похилий лист скулової цистерни в т. №1
P=141,9 кПа

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

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 179,7 \cdot 10^{-2}} = 0,315 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{bz} = \left(\frac{2\pi}{T_6} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{17,24} \right)^2 \cdot 0,315 \cdot 16,05 = 0,67 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 16,05$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{bz}^2} = \sqrt{1,61^2 + 0,457^2 + 0,4 \cdot 0,67^2} = 1,73 \text{ м/с}^2,$$

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

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_\sigma = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,4 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,73}{9,81} \right) \cdot (12,7) = 136,86 \text{ кПа.}$$

де $z_i = 12,7$ 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=136,9 кПа**

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 179,7 \cdot 10^{-2}} = 0,315 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{6z}^2} = \sqrt{1,61^2 + 0,457^2 + 0,4 \cdot 0,67^2} = 1,73 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 16,05$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

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

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_\epsilon = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,4 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,73}{9,81} \right) \cdot (12,7) = 68,32 \text{ кПа.}$$

де $z_i = 12,7$ 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 $P = 68,3$ кПа

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

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 179,7 \cdot 10^{-2}} = 0,315 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{6z} = \left(\frac{2\pi}{T_\epsilon} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{17,24} \right)^2 \cdot 0,315 \cdot 16,05 = 0,67 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 16,05$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{6z}^2} = \sqrt{1,61^2 + 0,457^2 + 0,4 \cdot 0,67^2} = 1,73 \text{ м/с}^2,$$

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

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

$$P_\epsilon = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,4 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,73}{9,81} \right) \cdot (4,44) = 23,9 \text{ кПа,}$$

де $z_i = 4,44$ 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 $P = 23,9$ кПа

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо випробувальний тиск на похилу стінку підпалубної цистерни в т. №3:

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

Де $h_{\text{п.т}} = z_i + \Delta z = 4,44 + 1,5 = 5,94$ 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.

$$\text{Маємо: } P_{\text{вип}} = 7,5 \cdot 5,94 = 44,55 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g \cdot (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (4,44 + 1,5) = 44,8 \text{ кПа,}$$

де $z_i = 5,44$ 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 **$P = 44,8$ кПа**

Знайдемо випробувальний тиск на похилу стінку підпалубної цистерни в т. №4:

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

Де $h_{\text{п.т}} = z_i + \Delta z = 0,8 + 1,5 = 2,3$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з карлінгом до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{\text{вип}} = 7,5 \cdot 2,3 = 17,25 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g \cdot (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (0,8 + 1,5) = 17,35 \text{ кПа,}$$

де $z_i = 0,8$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з карлінгом.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаю розрахунковий тиск на обшивку похилої стінки підпалубної цистерни в т. № 4 $P=17,3$ кПа

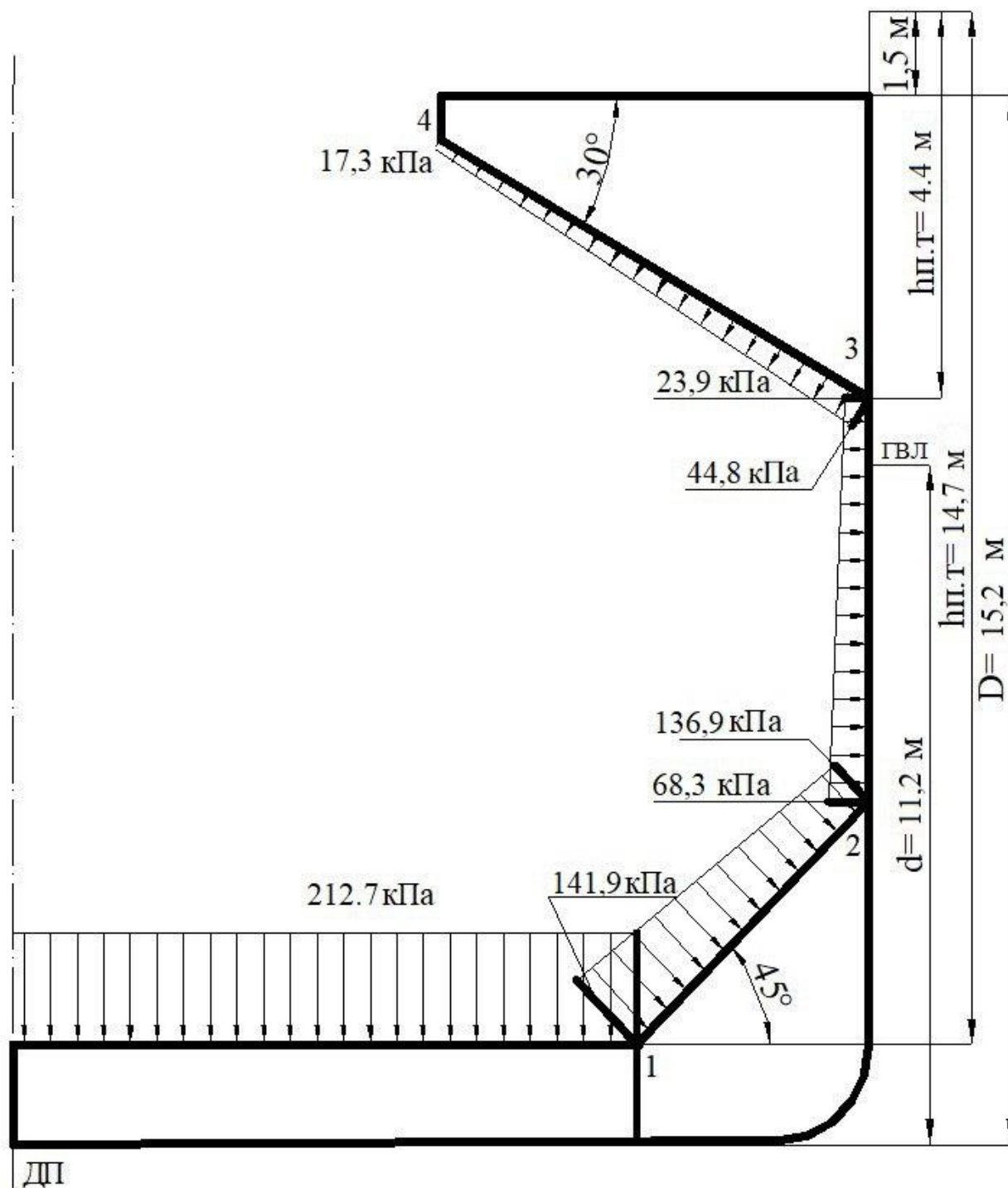


Рис.4.3.Схема навантажень, що діють на корпус судна з боку вантажу.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

6.10. Визначення товщин листових конструкцій

6.10.1. Зовнішня обшивка днища

Мінімальна товщина зовнішньої обшивки дна та бортів:

$$P = P_s + P_w = 112,6 + 20,29 = 132,89$$

$$S = \frac{m \cdot a \cdot \sqrt[3]{P}}{k_\sigma \cdot \sigma_n} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{132,89}{0,6 \cdot 326}} + 2,28 = 14 \text{ мм.}$$

$$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt[3]{h} = (5,5 + 0,04 \cdot 179,7) \cdot \sqrt[3]{0,68} = 10,46 \text{ , мм}$$

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

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

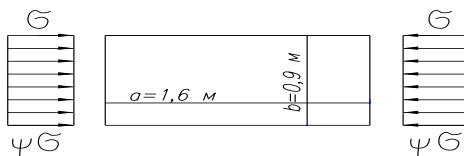
де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$ – для днищової обшивки.

$$\sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot 8,02}{104,47} \cdot 10^{-3} = 197,6 \text{ МПа,}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma + 1 = 1 \cdot 197,6 + 1 = 198,6$ МПа, так як $\frac{\sigma_{кр}}{R_{ен}} = \frac{198,6}{390} = 0,50$, то Ейлерові

напруження днищової пластини:

$$\sigma_e = \sigma_{кр} = 198,6 \text{ МПа,}$$



$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{1,6}{0,9} = 1,78 \geq 1 \text{ МПа,}$$

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

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

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

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{198,6}{0,1854 \cdot 4}} + 2,4 = 17,13 \text{ мм,}$$

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

Приймаю товщину днищової пластини: $S_{дн} = 18$ мм

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина горизонтального кіля: $S_{ГК} = S_{дн} + 2 = 18 + 2 = 20$ мм.

4.10.2.Настил верхньої палуби

Перевіряємо на стійкість пластини верхньої палуби. Пластина є стійкою, якщо [6]:

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

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

$$\sigma_{вп} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - Z_{дн})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2714663 \cdot (15,2 - 8,02)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 186,6 \text{ МПа}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1 \cdot 186,6 + 1 = 187,6$, МПа, так як $\frac{\sigma_{кр}}{R_{ен}} = \frac{187,6}{390} = 0,49 < 0,5$, то

Ейлерові напруження палубної пластини: $\sigma_e = \sigma_{кр} = 187,6$ МПа,

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

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{187,6}{0,1854 \cdot 4}} + 1,8 = 16,11 \text{ мм},$$

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

$$S_{min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{h} = (7 + 0,02 \cdot 179,7) \cdot \sqrt{0,68} = 8,74 \text{ мм}$$

Приймаю товщину палубної пластини, з урахуванням віддалення верхньої палуби від нейтральної вісі: $S_{ен} = 17$ мм при $S_{min} = 8,75$ мм.

Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Мінімальна товщина листів обшивки бортової скулової цистерни:

$$S_{min} = (7 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{h} = (7 + 0,02 \cdot 179,7) \cdot \sqrt{0,68} = 10,98 \text{ , мм}$$

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;

$k_{\sigma}=1$ – коефіцієнт допустимих напружень;

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$P=137,9$ 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;

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

$$S = \frac{m \cdot a \cdot \sqrt{P}}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n} + \Delta S = 22,4 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{132,89}{1 \cdot 345,6}} + 2,28 = 14,8 \text{ мм.}$$

Приймаю товщину надскулового пояса $S = 15$ мм

Товщина зовнішньої обшивки борту на рівні ВВЛ :

$m=22,4$ – коефіцієнт згинального моменту

$k_{\sigma}=0,4$ – коефіцієнт допустимих напружень

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

$P = P_{w \text{ ВВЛ}}=30,2$ 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;

$\Delta S=2,28$ 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:

$$S_{min} = \sqrt{L} = \sqrt{179,7} = 13,41 \text{ , мм}$$

Приймаю товщину зовнішньої обшивки на рівні ВВЛ $S = 14$ мм

Товщина ширстречного пояса та верхньої палуби:

$m=15,8$ – коефіцієнт згинального моменту

$k_{\sigma}=0,9$ – коефіцієнт допустимих напружень

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ док.ум.	Підпис	Дата		

$P = P_w = 16,88$ 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;

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

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

Мінімальна товщина ширстречного пояса та верхньої палуби:

$$S_{min} = 0,04 \cdot L + 5 = 0,04 \cdot 179,7 + 5 = 12,19 \text{ мм}$$

Приймаю товщину ширстречного пояса та верхньої палуби $S = 13$ мм

Проектування обшивки похилої стінки підпалубної цистерни

Товщина обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни:

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

$k_\sigma = 0,8$ – коефіцієнт допустимих напружень;

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

$P = 34,7$ кПа – розрахунковий тиск на похилий лист підпалубної 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.

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

Мінімальна товщина похилої стінки підпалубної цистерни:

$$S_{min} = 10 + 0,025 \cdot L = 10 + 0,025 \cdot 179,7 = 14,50 \text{ мм}$$

Приймаю товщину обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни $S = 15$ мм

Проектування обшивки похилої стінки бортової цистерни

Товщина обшивки нахиленої стінки бортової підпалубної цистерни:

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$k_{\sigma}=0,8$ – коефіцієнт допустимих напружень;

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

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

$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6$ МПа – 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:

$$S_{min} = (7 + 0,035 \cdot L) \sqrt{\bar{\eta}} = (7 + 0,035 \cdot 179,7) \sqrt{0,68} = 10,98 \text{ мм}$$

Приймаю товщину обшивки нахиленої стінки скулової цистерни $S = 11$ мм

4.10.4.Настил другого дна

Найбільше навантаження що діє на друге дно $P = 271,2$ 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 $m=15,8$, $k_{\sigma}=0,8$ – 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; σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; $\Delta S=3,6$ – запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Перевіряємо на стійкість пластини настилу другого дна. Пластина є стійкою, якщо [6]:

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

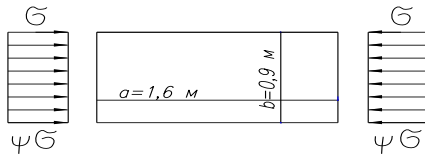
де σ_c – стискальні напруження, МПа; $\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$ – для обшивки другого дна:

$$\sigma_{пдн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot (8,02 - 1,8)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 153,38 \text{ МПа,}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1 \cdot 153,38 + 1 = 154,38$ МПа, так як $\frac{\sigma_{кр}}{R_{сн}} = \frac{154,38}{390} = 0,37 < 0,5$, то

Ейлерові напруження днищової пластини: $\sigma = \sigma_{кр} = 154,38$ 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 $\psi=1$ – коефіцієнт, який враховує ступінь нерівномірності стиску кромek пластин.

пластин.

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

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{154,38}{0,1854 \cdot 4}} + 3,6 = 16,6 \text{ мм,}$$

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

$$S_{min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\tau} = 5 + 0,035 \cdot 179,7 = 9,33 \text{ мм}$$

Приймаю товщину пластини другого дна: $S_{пдн}=18$ мм при $S_{min}=9,33$ мм.

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

6.11. Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру

6.11.1. Днищове перекриття

Висота подвійного дна $h=2$ 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 $\alpha=0,023L+5,8>6,5$; $k=k_1 \cdot k_2$; $a=0,9$ — 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].

Маємо:

$$a = 0,023 \cdot L + 5,8 = 0,023 \cdot 179,7 + 5,8 = 9,9$$

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

$$S = a \cdot k \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 9,9 \cdot 0,9 \cdot 1,056 \cdot \sqrt{0,68} + 2,4 = 10,16 \text{ мм}$$

$$S_{min} = 0,035L + 6 = 0,035 \cdot 179,7 + 6 = 12,3 \text{ мм}$$

Приймаю товщину суцільних флорів: $S_{фл}=13$ мм при $S_{min}=12,3$ мм.

Товщина водонепроникних флорів визначається за формулою [6]:

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

де $m=15,8$, $k_\sigma=0,85$ — 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; σ_n — нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; $\Delta S = 2,4$ — запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Розрахунковий тиск на водонепроникний флор:

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

де $P_k=15 \text{ кПа}$, $\rho=1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; Z_i – відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти флора, м.

$$\text{при } Z_i = D - h_{\text{вк}} / 2 = 15,2 - 2 / 2 = 14,2 \text{ м.}$$

$$P = \rho_B \cdot g \cdot Z_i + P_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 14,2 + 15 = 159,8 \text{ кПа.}$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{\frac{159,8}{0,85 \cdot 326}} + 2,4 = 9,93 \text{ мм.}$$

Приймаю товщину водонепроникного флору: $S_{\text{фл}}=10 \text{ мм}$, тобто дорівнює товщині суцільного флора $S_{\text{фл}}=10 \text{ мм}$.

Товщину днищевих стрингерів приймаємо рівною товщині суцільних флорів: $S_{\text{дн.стр.}}=10 \text{ мм}$.

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

$$\text{Маємо: } \alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 = 0,03 \cdot 179,7 + 8,3 = 13,71$$

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

Приймаю $\alpha_k = 11,2$

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

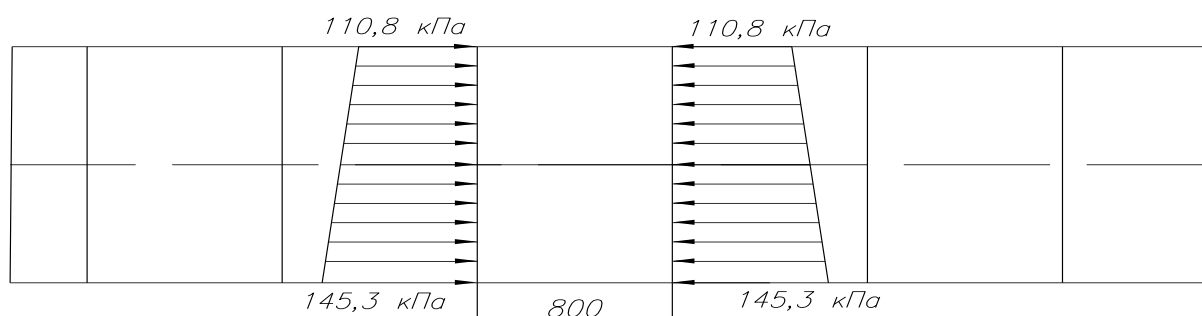
Приймаю товщину вертикального кіля: $S_{\text{вк}}=19 \text{ мм}$.

Перевіряємо на стійкість вертикальний кіль.

$$P = 0,75 \cdot \rho_B \cdot g \cdot (Z_i + \Delta Z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (14,4 + 1,5) = 119,9 \text{ кПа}$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема вертикального киль



Вертикальний киль 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:

$$\sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot (8,02)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 197,8 \text{ МПа,}$$

– для обшивки другого дна:

$$\sigma_{пдн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{пдн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot (8,02 - 1,8)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 153,38 \text{ МПа,}$$

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

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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:

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

$$\sigma_{\partial H} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{\partial H}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot (8,02)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 197,8 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot (Z_{\partial H} - 1,34)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2574220 \cdot (8,02 - 1,34)}{104,47} \cdot 10^{-3} = 164,73 \text{ МПа,}$$



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

стискання кромки пластини.

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

Ейлерові напруження визначимо за формулами:

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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 ; $l=1,8$ – прогін балки, м ; $m=12$, k_σ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних Правилах; ω_k – поправка на знос та корозію.

1. $P = P_{st} + P_w = 132,89 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск для поздовжніх балок днища.

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

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

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

$$2. \quad k_\sigma = 0,6 \cdot k_b \leq 0,75; \quad k_\sigma = 0,6 \cdot k_b = 0,6 \cdot 1,063 = 0,65.$$

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S;$$

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

$$1. \quad W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{132,89 \cdot 0,9 \cdot 1,8^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,48 \cdot 326} = 206,4 \text{ см}^3$$

$$W' < 200 \text{ см}^3, \text{ тому } h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{206,4} \right) = 0,099$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Поправка на знос та корозію:

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,099 \cdot 2,4 = 1,238 ;$$

$$W = \dot{W} \cdot \omega_k = 206,4 \cdot 1,238 = 255,5 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний 18б, $h_{cm}=180$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=25,8 \text{ см}^2$; $W=260 \text{ см}^3$, тому що $S_{min}=0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 179,7 + 5,5 = 10$ мм. $l=1,8$ м

$$2. \quad \dot{W} = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{271,2 \cdot 0,9 \cdot 1,8^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 326} = 311 \text{ см}^3$$

$$h_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{311} \right) = 0,088$$

Поправка на знос та корозію:

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,088 \cdot 2,4 = 1,211 ;$$

$$W = \dot{W} \cdot \omega_k = 311 \cdot 1,211 = 379,6 \text{ см}^3$$

Згідно ГОСТу 21937-76, вибираємо штабобульб несиметричний 22а, $h_{cm}=220$ мм, $S_{cm}=11$ мм; $f=32,8 \text{ см}^2$; $W=380 \text{ см}^3$, тому що $S_{min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 179,7 + 5,5 = 10$ мм.

Бортова скулова цистерна

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

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

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

$W' > 200 \text{ см}^3$, 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:

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,07 \cdot 2,4 = 1,168 ;$$

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаю тавр зварний РД.9373-80 профілю 56а $\frac{14 \times 560}{18 \times 250}$, $f=123,4 \text{ см}^2$; $W=3600 \text{ см}^3$, $f_{нояс}=100 \text{ см}^2$

6.11.2. 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 $\rho=1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; $Z_i=2,4 \text{ м}$ – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії, м.

Розрахунковий хвильовий тиск визначається за формулою:

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 29,8 - 1,5 \cdot 10 \cdot \frac{2,4}{11,2} = 26,6 \text{ кПа}$$

При $Z_i=2,4 \text{ м}$

Розрахунковий тиск посередині прольоту шпангоута:

$$P = P_{st} + P_w = 24,13 + 26,6 = 50,73 \text{ кПа}$$

$$P_{min} = 10z + 0,15L + 10 = 10 \cdot 2,4 + 0,15 \cdot 179,7 + 10 = 61 \text{ кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск посередині прольоту шпангоута $P=61 \text{ кПа}$

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$\dot{W} = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{61 \cdot 0,8 \cdot 7,25^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 345,6} = 634,4 \text{ см}^3$$

$l = 7,25 \text{ м}$ – прогін шпангоута,

$W' > 200 \text{ см}^3$, тому

$$h_k = \frac{1}{0,15} \cdot (0,01 + \frac{1}{W}) = \frac{1}{0,15} \cdot (0,01 + \frac{1}{634,4}) = 0,077$$

Поправка на знос та корозію:

$$\omega_k = 1 + h_k \cdot \Delta S = 1 + 0,077 \cdot 1,56 = 1,12$$

$$W = \dot{W} \cdot \omega_k = 634,4 \cdot 1,12 = 710,5 \text{ см}^3$$

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

шпангоута $S_{min}=(1+0,03 \cdot L)k=(1+0,03 \cdot 180,4) \cdot 1,25=8$ мм

Проектування конструкцій бортової підпалубної цистерни

Поздовжні балки ВП

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

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

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

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

$W' < 200 \text{ см}^3$, тому

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

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, $h_{cm}=180$ мм, $S_{cm}=11$ 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 $S_{min}=5,5+0,025 \cdot L=5,5+0,025 \cdot 180,4=10$ мм

Перевіримо стійкість поздовжніх балок підпалубної цистерни:

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

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

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

$\sigma_{kp} = 342 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 231,7 = 254,9 \text{ МПа}$, тому робимо висновок, що поздовжні балки підпалубної цистерни будуть стійкими.

Поздовжні балки похилого листа бортової підпалубної цистерни

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаю розрахунковий тиск що діє на похилу стінку підпалубної цистерни посередині прогину $P = 34,75$ кПа

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

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

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

$W' < 200 \text{ см}^3$, тому

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

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, $h_{cm} = 200$ мм, $S_{cm} = 12$ мм; $f = 31,4 \text{ см}^2$; $i = 5110 \text{ см}^4$; $W = 296 \text{ см}^3$, тому що мінімальна будівельна товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min} = 5,5 + 0,025 \cdot L = 5,5 + 0,025 \cdot 180,4 = 10 \text{ мм}$$

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

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

$\sigma_{kp} = 345,4 \text{ МПа} > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 231,7 = 255 \text{ МПа}$, тому робимо висновок, що поздовжні балки підпалубної цистерни будуть стійкими.

Поздовжні балки борту

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

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

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

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$W' < 200 \text{ см}^3$, тому

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

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, $h_{cm} = 180 \text{ мм}$, $S_{cm} = 11 \text{ мм}$; $f = 25,8 \text{ см}^2$; $i = 3530 \text{ см}^4$, $W = 218 \text{ см}^3$, тому що мінімальна будівельна товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min} = 5,5 + 0,025 \cdot L = 5,5 + 0,025 \cdot 180,4 = 10 \text{ мм}$$

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.

Горизонтальні поздовжні балки поздовжніх перепон підпалубної цистерни

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

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

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

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

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

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$h_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{150} = 0,11$$

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 мінімальна
будівельна товщина конструкцій підпалубної цистерни

$$S_{min} = 5,5 + 0,025L = 5,5 + 0,025 \cdot 179,7 = 10 \text{ мм}$$

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.

Поперечні балки

Приймаю розрахунковий тиск що діє на рамні бімси $P = 16,88$ кПа

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$a = 3,2$ м—відстань між балками;

$\Delta S = 1,8$ мм;

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

$l = 4,2$ м – прогін поздовжньої балки між рамними балками цистерни

$W' > 200 \text{ см}^3$, тому

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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 стінки рамного бімсу повинна бути не менша , ніж:

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

$$\tau_n = 0,57\sigma_n = 0,57 \cdot 326 = 185,82 \text{ кПа} \text{—шоаниця плинності за дотичним}$$

напруженням;

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

$$f_c 50^a = 60 \text{ см}^2$$

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

Проектування конструкцій комінгс-карлінгса

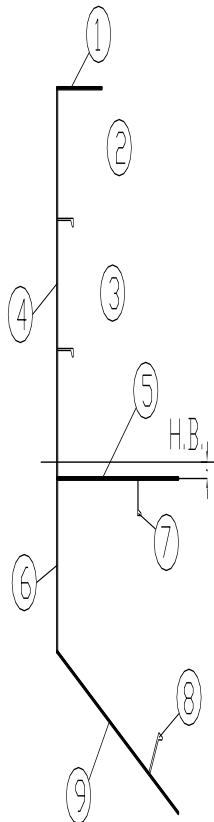


Рис. 4.4. Комінгс-карлінгс

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент опору балки без урахування зносу на корозію:

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{16,48 \cdot 12,4 \cdot 19,2^2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 326} = 35550,9 \text{ см}^3$$

Поправка на знос та корозію:

$$\omega_k = 0,1 \cdot W' = 0,1 \cdot 35550,9 = 3555,1 ;$$

$$W_{номр} = W' \cdot \omega_k = 35550,9 \cdot 3555,1 = 39106 \text{ см}^3$$

Розміри комінгса люка визначаємо конструктивно (дивись Таблицю №4.5.).

Таблиця № 4.5.

№	Розміри, мм	$Fi, \text{ см}^2$	$Zi, \text{ м}$	$FiZi, \text{ см}^2\text{м}$	$FiZi^2, \text{ см}^2\text{м}^2$	$I, \text{ см}^2\text{м}^2$
1	19x500	95,0	1,82	173	315	-
2	186	25,8	1,257	32	41	-
3	186	25,8	0,623	16	10	-
4	1900x16	304,0	0,95	289	274	91
5	20x1359	271,8	0	0	0	-
6	844x16	135,0	-0,422	-57	24	8
7	186	25,8	-0,112	-3	0	-
8	226	37,2	-1,3	-48	63	-
9	1569x16	251,0	-1,23	-309	380	-
	Σ	A=1171		B=93	C=1206	

Відстань центра ваги вузла від осі порівняння (ОП):

$$e = \frac{B}{A} = \frac{93}{1171} = 0,08 \text{ м}$$

Момент інерції вузла відносно ОП:

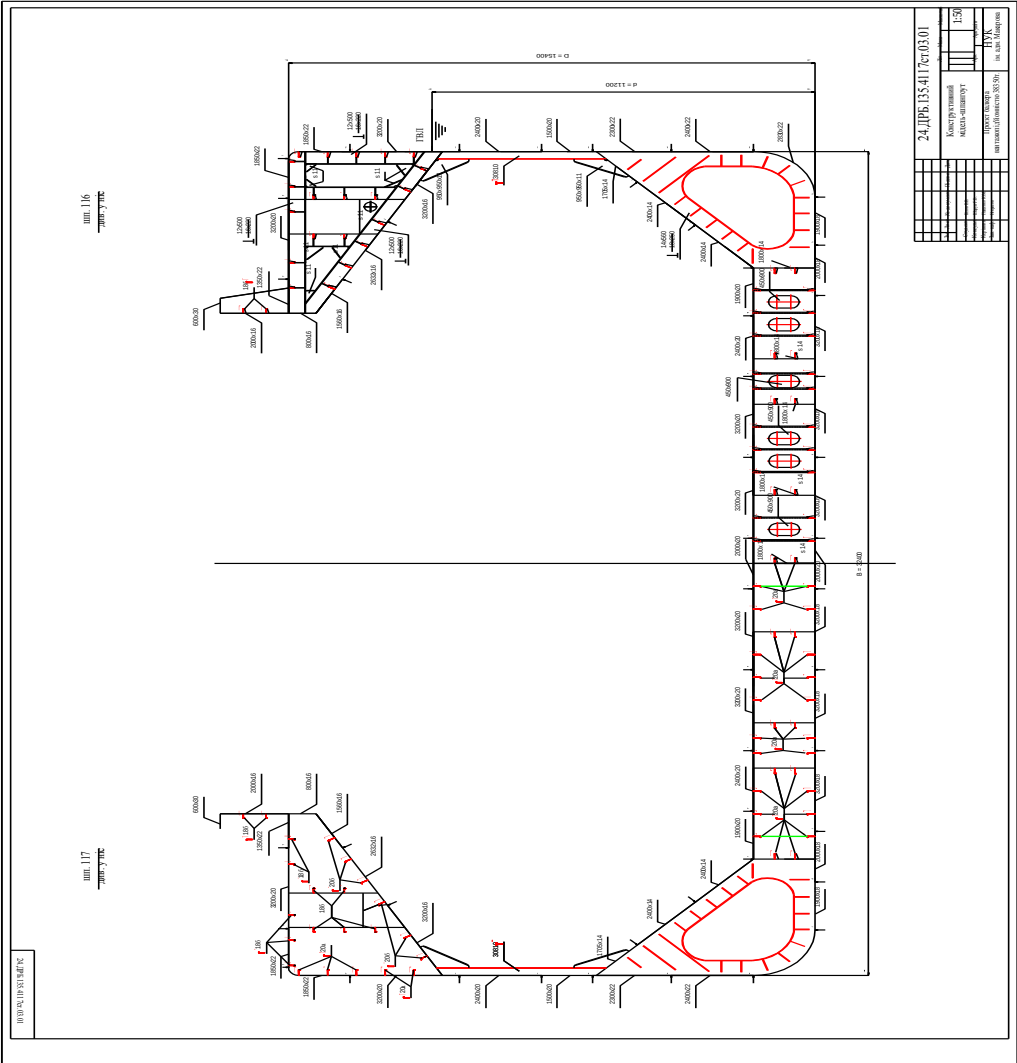
$$I = C - e^2 \cdot A = 1206 - 0,08^2 \cdot 1171 = 0,120 \text{ м}^4$$

$$W_{факт} = \frac{I}{Z} = \frac{0,120}{1,74} = 0,068885 \text{ м}^3$$

$$W_{факт} = 68885 \text{ см}^3$$

$$W_{факт} = 68885 \text{ см}^3 > W_{номр} = 39106 \text{ см}^3.$$

					24.ДБР. 135.4117ст.03.ПЗ.06	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



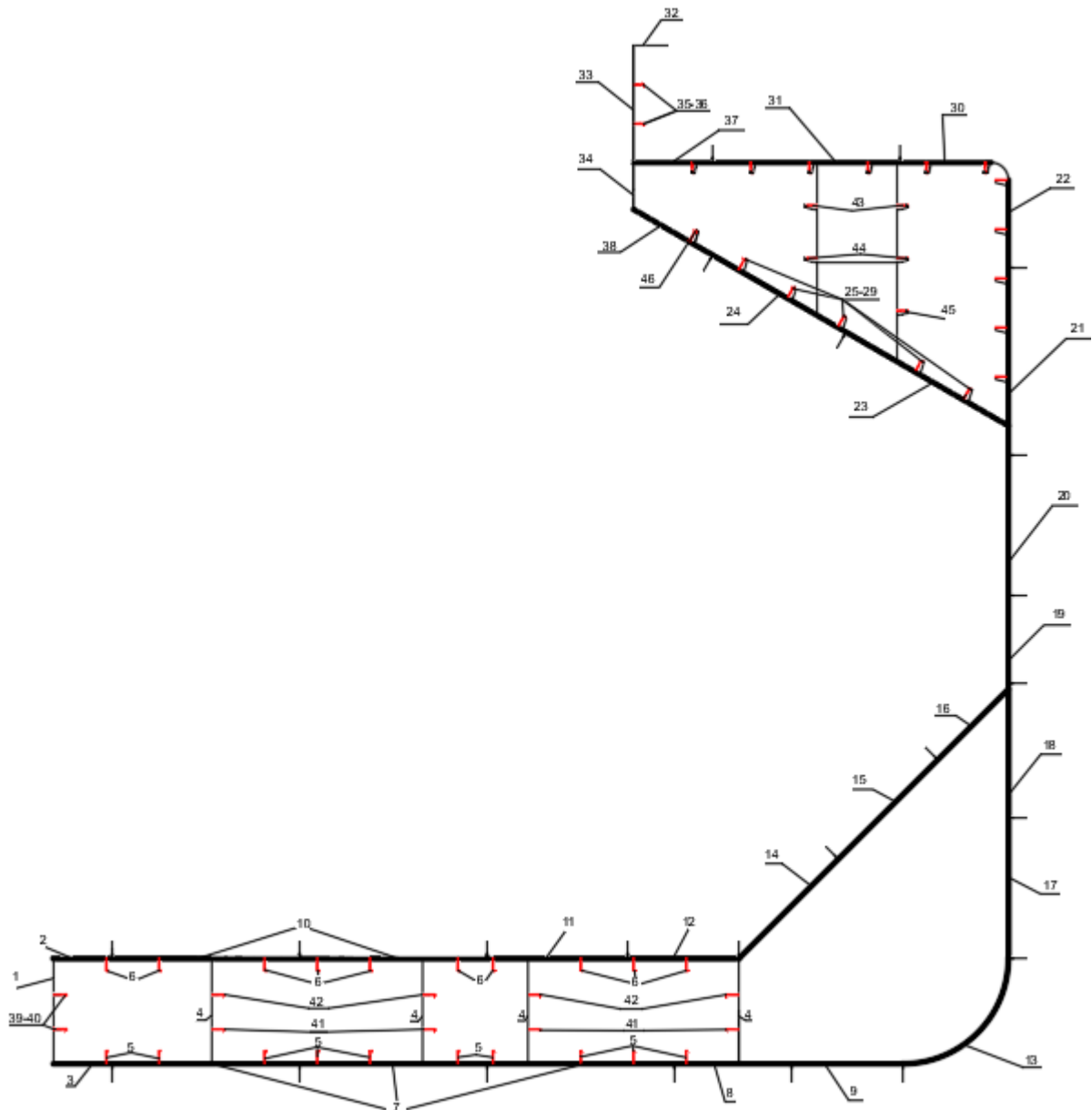
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДБР. 135.4117ст.03.П3.06

Арк.

					24.ДРБ.135.4117ст.04.ПЗ.07			
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата				
					Перевірка загальної та місцевої міцності в'язей корпусу судна	Лист	Лист	Листов
Студент	Білов В.В.							
Консульт.	Коростильов Л.І.							
Керівник	Пащенко Ю.М.					НУК		
Зав. Кафедр.	Некрасов В.О..							

7.1 Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності



Таблиця 7.1

№	Наименование и размер связи	F_i , см^2	Z_i , м	$\text{Fix}Z_i$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$	$\text{Fix}Z_i^2$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	l_i , $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Z_i-e , м	$\sigma_{\text{вв}}$	$\sigma_{\text{пв}}$	$\text{Fix}(Z_i-e)$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$
1	Вертикальний кіль 1800x9,5	171	0,9	153,9	138,51	46,17	-5,01	-118,65	125,1	-856,77
2	Лист обшивки другого дна 1000x20	200	1,8	360	648	0	-4,11	-97,34	102,7	-822,07
3	Горизонтальний кіль	200	0	0	0	0	-5,91	-139,97	147,6	-1182,07

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

	1000x20									
4	Днищові стрінгери х4 1800х14	1008	0,9	907,2	816,48	93,33	-5,01	-118,65	125,1	-5050,41
5	Р.Ж. зовн. Обшивки днища Р20а х10	273,6	0,1	27,36	2,736	0	-5,81	-137,60	145,1	-1589,71
6	Р.Ж. Обшивки другого дна Р20а х10	273,6	1,70	465,12	790,70	0	-4,21	-99,71	105,1	-1151,95
7	Лист зовн. обшивки дна х3 3200х18	1728	0,00	0	0	0	-5,91	-139,97	147,6	-10213,05
8	Лист зовн. обшивки дна 2000х18	360	0,00	0	0	0	-5,91	-139,97	147,6	-2127,72
9	Лист зовн. обшивки дна 1900х18	342	0,00	0	0	0	-5,91	-139,97	147,6	-2021,33
10	Лист обшивки другого дна х2 3200х20	1280	1,80	2304	4147,2	0	-4,11	-97,34	102,7	-5261,22
11	Лист обшивки другого дна 2400х20	480	1,8	864	1555,2	0	-4,11	-97,34	102,7	-1972,96
12	Лист обшивки другого дна 1900х20	380	1,8	684	1231,2	0	-4,11	-97,34	102,7	-1561,93
13	Скуловий лист 2827х22	621,9	0,527	327,76	172,73	414,21	-5,38	-127,49	134,4	-3348,11
14	Лист обшивки скулової цистерни 2400х14	336	2,81	944,16	2653,09	161,28	-3,10	-73,42	77,4	-1041,71
15	Лист обшивки скулової цистерни 2400х14	336	4,345	1459,92	6343,35	161,28	-1,57	-37,07	39,1	-525,95
16	Лист обшивки скулової цистерни 1705х14	238,7	5,796	1383,51	8018,80	57,83	-0,11	-2,71	2,9	
17	Лист зовн. обшивки скулової цис 2400х22	528	3	1584	4752	253,44	-2,91	-68,92	72,7	-1536,65
18	Лист зовн. обшивки скулової цис 2300х22	506	5,35	2707,1	14482,985	223,06	-0,56	-13,27	14,0	-283,53
19	Лист зовн. обшивки борту 1500х20	300	7,25	2175	15768,75	56,25	1,34	31,73	-33,5	
20	Лист зовн. обшивки борту 2400х20	480	9,20	4416	40627,2	230,4	3,29	77,91	-82,2	
21	Лист зовн. обшивки борту 3200х20	640	12,00	7680	92160	546,13	6,09	144,21	-152,1	
22	Ширстрек 1850х22	407	14,50	5901,5	85571,75	116,08	8,59	203,42	-214,5	
23	Лист обшивки підпалубної цист 3200х16	512,00	11,81	6046,72	71411,76	436,91	5,90	139,72	-147,3	
24	Лист обшивки підпалубної цист 2632х16	421,1	13,15	5537,73	72821,12	243,11	7,24	171,45	-180,8	
25	Р.Ж. обшивки підпалубної цист Р20б	31,40	11,44	359,22	4109,43	0	5,53	130,95	-138,1	

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

27	Р.Ж. обшивки підпалубної цист Р20б	31,40	12,7	398,78	5064,51	0	6,79	160,79	-169,6	
28	Р.Ж. обшивки підпалубної цист Р20б	31,40	13,2	414,48	5471,14	0	7,29	172,63	-182,1	
29	Р.Ж. обшивки підпалубної цист Р20б	31,40	13,7	430,18	5893,47	0	7,79	184,47	-194,5	
30	Палубний стрінгер 1850х22	640	15,4	9856,00	151782,40	0	9,49	224,73	-237,0	
31	Настил верхньої палуби 3200х20	640	15,40	9856,00	151782,40	0	9,49	224,73	-237,0	
32	Поясок комінгс люка 600х30	180	17,4	3132,00	54496,80	0	11,5	272,10	-286,9	
33	Комінгс-карлінгс 2000х16	320	16,4	5248,00	86067,20	106,67	10,5	248,42	-262,0	
34	Комінгс-карлінгс 800х16	128	15	1920,00	28800,00	6,83	9,09	215,26	-227,0	
35	Р.Ж. комінгс-карлінгса Р18б	25,8	16,06	414,35	6654,43	0	10,1	240,36	-253,5	
36	Р.Ж. комінгс-карлінгса Р18б	25,8	16,74	431,89	7229,87	0	10,83	256,47	-270,5	
37	Настил верхньої палуби 1350х22	297	15,4	4573,80	70436,52	0	9,49	224,73	-237,0	
38	Лист обшивки підпалубної цист 1560х16	249,6	14,21	3546,82	50400,26	50,62	8,30	196,55	-207,3	
39	Р.Ж. вертикального кіля Р20а	27,36	0,59	16,14	9,52		-5,32	-126,00	132,9	-145,56
40	Р.Ж. вертикального кіля Р20а	27,36	1,18	32,28	38,10		-4,73	-112,02	118,1	-129,42
41	Р.Ж. днищевих стрингерів Р20а х4	109,4	0,59	64,57	38,10		-5,32	-126,00	132,9	-582,26
42	Р.Ж. днищевих стрингерів Р20а х4	109,4	1,18	129,14	152,38		-4,73	-112,02	118,1	-517,69
43	Р.Ж. балок підпалубної цистерни Р18б х2	51,60	14,66	756,46	11089,64		8,75	207,21	-218,5	
44	Р.Ж. балок підпалубної цистерни Р18б х2	51,60	13,7	706,92	9684,80		7,79	184,47	-194,5	
45	Р.Ж. балок підпалубної цистерни Р18б	25,8	12,8	330,24	4227,07		6,89	163,16	-172,1	
46	Р.Ж. обшивки підпалубної цист Р20б	31,4	14,14	444,00	6278,10		8,23	194,89	-205,5	
	Сума	15120,16		89365,15	1088296,21	3203,5				-41922,06

$$I_{н.о}=2(C-e^2.A).10^{-4}=2(1091499,79-5,9^2*15120,16)*10^{-4}=112,66\text{ (м}^4\text{)}$$

$$e=B/A=89365,15/15120,16=5,9\text{ (м)}$$

$$I=112,66$$

$$W_b^\phi=I/e=19,062.10^6\text{ (см}^3\text{)}$$

$$W_d^\phi=I/(D-e)=112,66/(15,4-5,9)=11,87.10^6\text{ (см}^3\text{)}$$

$$I_{\min}=83,75\text{ (м}^4\text{)}$$

$$W_{\text{треб}}=11,05\text{ (м}^3\text{)}$$

$$W_b^\phi>W_{\text{треб}}$$

$$W_d^\phi>W_{\text{треб}}$$

$$I>I_{\min}$$

Загальна поздовжня міцність судна забезпечена

7.2. Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища корпусу судна

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

7.2.1 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 а 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 р 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 7.1 представлена розрахункова схема пластини днища із зазначенням розташування найбільш напружених точок 1 та 1'.

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

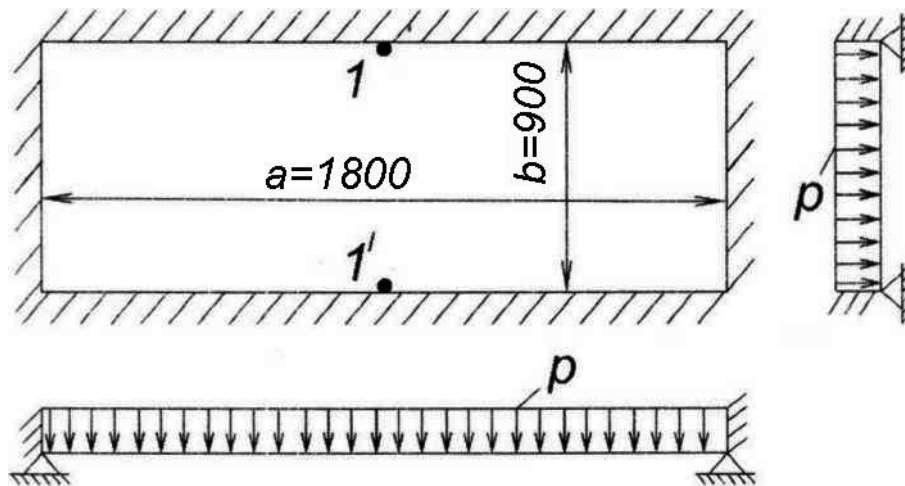


Рисунок 7.1. Розрахункова схема пластини днища

7.2.2 Розрахункове навантаження

Розрахункове навантаження на пластину днища визначається без протидії навантаження зсередини за формулою ,

де ρ – розрахунковий статичний тиск води, кПа; $\rho_{ст}$ – тиск, обумовлений хитавицею судна, кПа; h – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах, м.

$$P = P_{ст} + P_{хв} = 112,62 + 64,48 = 177,1 \text{ кПа}$$

$$P_{ст} = \rho g d = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 11,2 = 112,62 \text{ кПа},$$

$$P_{хв} = \rho g h / 2 \cdot a_{хв} = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 9,43 / 2 \cdot 2,03 \cdot 0,67 = 64,48 \text{ к}$$

де h – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах,

$$h_1 = k_c \cdot C_w = 9,43$$

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1 \leq 1$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 9,43 \leq 10,75$$

a_v, a_x – параметри хитавиці

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_n}{L} \right) = 1,25 \left(1 - 2 \frac{41,68}{179,7} \right) = 0,67$$

$$a_v = \frac{0,8 V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15,4 \left(\frac{179,7}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{179,7}} + 1,5 = 2,03$$

$V_0 = 15,4$ – швидкість судна на тихій воді, вузл.;

$L = 179,7$ – 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.

7.3 Визначення напружень в небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі, зображеній на рис. 7.1, небезпечними точками позначено точки по середині довгої сторони опорного контуру (точки 1 та 1').

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 крамок 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 (шпація), мм;

$k = 0,0833$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин крамок 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)].

7.4 Перевірка умов міцності

Умова міцності має вигляд

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

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

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

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$k_\sigma R_{en} = 390$ — межа плинності, МПа;
 $k_\sigma = 1,1$ – коефіцієнт допустимих напружень для даного перерізу, який приймається згідно норм для пластин днища.

σ_{max} – максимальне згинальне напруження

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

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 удифферентовано 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.

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Особливості проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник. Частина 1/ О.В. Бондаренко, О.І. Кротов, Л.О. Матвеев, С.О. Прокудін – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 73 с.
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1–2. – Київ, 2011.
3. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2011.
4. Кротов О.І. «Проектування морських транспортних суден», - Миколаїв: УДМТУ, 2003р.
5. О.І. Кротов, С.Ф. Ільїн, Я.А. Клева. Курсове і дипломне проектування транспортних суден. Методичні вказівки / Миколаїв: НУК, 2009. – 65 с.
6. В. Г Матвеев, Г.В. Шарун. Проектування конструктивного мідель-шпангоута навалочних суден. Методичні вказівки / Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 64с.

					24. ДРБ. 135. 4117ст. 04. ПЗ. 07	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		