

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
Завідувач кафедри
В.О. Непрясов
"20" 06 2025

Пояснювальна записка
до бакалаврської роботи

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Проектування суховантажного судна вантажопідйомністю 7300 т

Виконав: студент групи 4111

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Спеціалізація «Кораблі та океанотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Пономаренко. М.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Старший викладач Астахова А.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Титов Г.В.

(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 4111

Пономаренко Максим Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Проектування суховантажного судна вантажопідйомністю 7300 т**

керівник роботи **Астахова Аліна Олегівна, старший викладач**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " " 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2025 р

3. Вихідні дані до роботи:

Вантажопідйомність – 7300 т;

швидкість ходу експлуатаційна – 10,7 вузла;

клас судна КМ* ЛУ2 А1 суховантажне

тип енергоустановки – дизельний двигун;

дальність плавання – 6500 миль;

розрахункова питома вантажомісткість – 1,54 м³/т

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. Набір конструктивного мідель-шпангоуту за Правилами РСУ. Розрахунок поздовжньої міцності.

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

5.1. Теоретичне креслення.

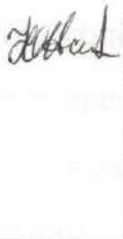
5.2. Гідростатичні криві.

5.3. Діаграма остійності неушкодженого судна.

5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.

5.5. Креслення конструктивного мідель-шпангоуту

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	ст.вик. Астахова А.О.	05.02.25р.		25.05.25р.	
теорія корабля	доц. Пащенко Ю.М.	09.04.25р.		02.05.25р.	
конструкція корпусу	ст. вик. Шарун Г.В.	09.04.25р.		09.06.25р.	
будівельна механіка корабля	проф. Коростильов Л.І.	06.05.25р.		16.06.25р.	

7. Дата видачі завдання 05.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	15.03.2025р.	
2.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна.	24.03.2025р.	
3.	Побудова теоретичного креслення.	29.03.2025р.	
4.	Побудова гідростатичних кривих	21.04.2025р.	
5.	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	25.05.2025р.	
6.	Розрахунок конструктивного мідель-шпангоуту	04.06.2025р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2025р.	

Студент



Пономаренко М.Р.

Керівник роботи



Астахова А.О.

Анотація

Згідно з завданням на дипломну роботу, було спроектовано суховантажне судно для перевезення вантажів. У ході роботи визначені основні розміри судна у двох наближеннях і параметри головного двигуна. За допомогою програми Maxsurf були створені теоретичне креслення і 3D модель судна; проведено розрахунки обсягів і центрів ваги приміщень; виконано розрахунки елементів плавучості та початкової стійкості; складено діаграму статичної та динамічної остійності, а також перевірено критерій погоди; перевірено відповідність діаграми статичної остійності судна вимогам правил Регістру.

Відповідно до «Правил класифікації та будівництва судів» Регістру судноплавства України, було спроектовано конструктивний мідель-шпангоут судна. Виконано перевірку загальної міцності судна.

Ключові слова: суховантажне судно, основні розміри, остійність, морехідні якості, дифферент, міцність.

Abstract

According to the thesis assignment, a bulk carrier was designed for cargo transportation. In the course of the work, the main dimensions of the vessel in two approximations and the parameters of the main engine were determined. Using the Maxsurf program, a theoretical drawing and a 3D model of the vessel were created; the volumes and centers of gravity of the premises were calculated; calculations were performed on the theory of the ship, elements of buoyancy and initial stability; a diagram of static and dynamic stability was drawn up, and the weather criterion was checked; compliance of the vessel's static stability diagram with the requirements of the Register rules was checked.

In accordance with the "Rules for Classification and Construction of Ships" of the Shipping Register of Ukraine, the structural middle frame of the ship was designed. A check of the general strength of the ship. Key words: bulk carrier, main dimensions, stability, seaworthiness, differential, strength

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.....	9
Розділ 2. Перевірка морехідних якостей судна.....	28
Розділ 3. Набір корпусу судна за правилами Регістру та розрахунок загальної міцності судна.....	36
Розділ 4. Перевірка міцності днищової пластини.....	79
Висновки.....	84
Список літератури.....	85

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Вступ

Суховантажне судно, або просто суховантаж — це морське чи річкове вантажне судно, розроблене для транспортування різних сухих вантажів, які не є рідкими.

Для збільшення безпеки плавання, судна цього типу часто обладнуються подвійним дном і подвійними бортами. Вантаж розміщується у трюмах, твіндеках, диптанках, а також на верхній палубі у випадку штучних вантажів. Зазвичай універсальні суховантажі мають декілька палуб, а спеціалізовані суховантажні судна — одну.

До основних видів вантажів, які перевозяться суховантажними судами, належать:

Навалювальні вантажі — руди, вугілля, цемент, сіль, сірка, фосфати, боксити, добрива тощо. Вони перевозяться без тари, насипом.

Сипучі харчові вантажі — зерно (пшениця, кукурудза, ячмінь, соя), цукор, какао-боби.

Пакетовані вантажі — вантажі в мішках, коробках, на палетах (наприклад, цукор, борошно, хімічні речовини).

Лісоматеріали — колоди, пиломатеріали, деревна тріска.

Металопродукція — рулони сталі, арматура, труби, алюмінієві злитки.

Будівельні матеріали — цемент у мішках, щебінь, гіпс, скло.

Контейнери — у випадку комбінованих суховантажів, що мають палуби з кріпленнями для контейнерів.

Автотехніка, обладнання, великогабаритні вантажі — зазвичай перевозяться суднами типу "ро-ро" або з відкритою палубою.

Основні методи проектування суден

Їх можна класифікувати на основі різних підходів, обмежень і цілей. Ось деякі з ключових методів проектування суден:

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Метод проектування по прототипу

Найбільш традиційний і широко використовуваний підхід.

2. Метод параметричного проектування

Використовує математичні залежності між ключовими параметрами (довжина, ширина, дедвейт і т.д.).

3. Комп'ютерне проектування (CAD) та проектування на основі моделювання

Домінує в сучасному проектуванні суден за допомогою 3D-моделювання (Rhino, NAPA, Siemens NX).

4. Оптимізаційне проектування

Застосовує методи чисельної оптимізації (генетичні алгоритми, градієнтні методи).

5. Проектування на основі правил (класифікаційних товариств)

Дотримується приписів класифікаційних товариств (ABS, DNV, LR і т.д.).

У даній роботі для проектування судна було обрано **метод проектування за прототипом**. Такий підхід дозволяє використати досвід експлуатації вже наявного судна з подібними характеристиками, що значно спрощує процес ескізного та технічного проектування. Метод є доцільним у випадках, коли потрібна висока точність розрахунків за обмежених часових ресурсів.

Основними причинами вибору саме цього методу є:

- наявність перевірених технічних рішень у прототипі;
- спрощення розрахунків та компоновочних схем;
- мінімізація ризиків конструкторських помилок;
- відповідність обраного прототипу за типом, призначенням і розмірностями.

У якості прототипу було обране судно, яке за експлуатаційними параметрами відповідає поставленим задачам проектування. Його головні розміри наведено нижче:

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питомна вага вантажу, т/м ³	μв	1,543
Вантажопідйомність, т	Рв	6485
Потужність головного двигуна, кВт	Ne	1630
Швидкість експлуатаційна, вузлів	V	10,9
Дальність плавання, миль	Z	6000
Довжина між перпендикулярами, м	L	122,4
Ширина, м	B	16,6
Осадка, м	T	5
Висота борту, м	H	6,85
Водотоннажність, т	D	9146

Таке рішення дозволяє забезпечити як достатню остійність, вантажомісткість та ефективність енергетичної установки, так і відповідність судна нормам морського реєстру.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

					4.ДР.135.4111.05.ПЗ.01			
Змн.	мн.Ар	Арк.№ докум.	докум.Пі	дпис				
					Визначення основних елементів і характеристик судна-проєкту	Літ.	ДатаАрк.	Аркушів
Студент	Пономаренко М.Р.						Арк..	
Консульт.	Астахова А.О.					НУК		
Керівник	Астахова А.О.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

Розділ 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:

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

де $\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу, т;

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

$$\bar{\Delta} = 1620 + 606 + 75 + 291 + 54 + 15 + 6485 = 9146.$$

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

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{6485}{9146} = 0,7091,$$

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

$\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу.

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

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = \bar{\eta}_B - \left(\bar{a}_{EY} \left(\frac{v_g}{v_e} \right)^3 + \bar{a}_{II} \left(\frac{v_e}{v_g} \right)^2 \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{EY} + \bar{a}_{II},$$

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

$$\bar{a}_{EY} = \frac{\bar{P}_{EY}}{\bar{\Delta}} = \frac{75}{9146} = 0,0082; \quad \bar{a}_{II} = \frac{291}{9146} = 0,0318;$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = 0,7091 - \left(0,0082 \left(\frac{11,2}{10,9} \right)^3 + 0,0318 \left(\frac{10,7}{10,9} \right)^2 \frac{6500}{6000} \right) + 0,0082 + 0,0318 = 0,710.$$

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_B^{\text{кор}} \left(\frac{P_B}{\bar{P}_B} \right)^{0,25} = 0,710 \left(\frac{6485}{7300} \right)^{0,25} = 0,689,$$

де P_B – вантажопідйомність проекту.

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

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{7300}{0,689} = 10591 \text{ т.}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

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

- відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}}{\rho}}} = \frac{122,4}{\sqrt[3]{\frac{9146}{1,025}}} = 5,9;$$

- очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}} = 5,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{10591}{1,025}} = 128.53 \text{ м;}$$

- число Фруда:

проекту

$$Fr = \frac{0,514 v_e}{\sqrt{gL}} = \frac{0,514 \cdot 10,7}{\sqrt{9,81 \cdot 128.53}} = 0,155;$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

прототипу

$$\overline{Fr} = \frac{0,514\overline{v_e}}{\sqrt{g\overline{L}}} = \frac{0,514 \cdot 10,9}{\sqrt{9,81 \cdot 122,4}} = 0,162.$$

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
поздовжньої повноти	$C_p = 1 - \frac{0,41}{1 + 100\exp(-25Fr)}$	0,868	0,851	0,851
загальної повноти	$C_b = 1,23 - 2,44 \cdot Fr$	0,854	0,835	0,835
повноти площі мідель-шпангоута	$C_m = \frac{C_b}{C_p}$	0,983	0,982	0,982
повноти площі ватерлінії	$C_{wp} = 1,04 \cdot C_p^{2/3}$	0,947	0,934	0,934

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

– визначення відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\overline{B}}{\overline{d}} = \frac{16,6}{5} = 3,32;$$

– визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\overline{D}}{\overline{d}}\right) = \frac{6,85}{5} = 1,37;$$

– визначення відношення довжини до ширини борту:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \frac{122,4}{16,6} = 7,37.$$

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

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/d)_1}{k_{вч} \rho C_b (L/B)_1}}$	17,2
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	127,9
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	5,4
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	7,4

1.2 Визначення на ЕОМ буксирувальної 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

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	11,200	0,163	0,403	185,7	1725,563
2	11,212	0,163	0,404	186,4	1734,639
3	11,225	0,163	0,404	187,2	1743,765
4	11,237	0,163	0,405	188,0	1752,940
5	11,250	0,163	0,405	188,8	1762,164
6	11,262	0,163	0,406	189,6	1771,439
7	11,275	0,164	0,406	190,3	1780,763
8	11,287	0,164	0,406	191,1	1790,138
9	11,300	0,164	0,407	191,9	1799,563
10	11,313	0,164	0,407	192,7	1809,039
11	11,325	0,164	0,408	193,5	1818,567
12	11,338	0,165	0,408	194,3	1828,145
13	11,350	0,165	0,409	195,1	1837,775
14	11,362	0,165	0,409	196,0	1847,457
15	11,375	0,165	0,410	196,8	1857,191
16	11,387	0,165	0,410	197,6	1866,977
17	11,400	0,165	0,410	198,4	1876,816
18	11,413	0,166	0,411	199,2	1886,708
19	11,425	0,166	0,411	200,1	1896,653
20	11,437	0,166	0,412	200,9	1906,650
21	11,450	0,166	0,412	201,7	1916,702
22	11,463	0,166	0,413	202,6	1926,807
23	11,475	0,167	0,413	203,4	1936,966
24	11,487	0,167	0,414	204,3	1947,180
25	11,500	0,167	0,414	205,1	1957,448
26	11,512	0,167	0,415	206,0	1967,771
27	11,525	0,167	0,415	206,9	1978,149
28	11,538	0,167	0,415	207,7	1988,582
29	11,550	0,168	0,416	208,6	1999,071
30	11,562	0,168	0,416	209,5	2009,616
31	11,575	0,168	0,417	210,3	2020,217
32	11,587	0,168	0,417	211,2	2030,874
33	11,600	0,168	0,418	212,1	2041,587
34	11,612	0,169	0,418	213,0	2052,358
35	11,625	0,169	0,419	213,9	2063,185
36	11,637	0,169	0,419	214,8	2074,070
37	11,650	0,169	0,419	215,7	2085,013
38	11,663	0,169	0,420	216,6	2096,013
39	11,675	0,169	0,420	217,5	2107,072
40	11,688	0,170	0,421	218,4	2118,189
41	11,700	0,170	0,421	219,3	2129,365

Буксирувальна потужність для швидкості на випробуваннях: $v_e=11,4$ вузлів, $N_e=1025,372$ кВт. Буксирувальна потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=10,7$ вузлів визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_e = 882,490$ кВт.

Обираємо головний двигун фірми «MAN B&W» за каталогом (табл.1.2.2).

Таблиця 1.2.2 – Характеристики головного двигуна

Марка дизеля	Потужність, кВт	Частота оберт. об ⁻¹	Витрати палива г/(кВт·ч)	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, т
8L28/32A	1960	775	192	6290	1732	3186	23,5

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 $P_K = q_K C_b^{\Pi} LBD$, а маса обладнання $P_O = q_O (LBD)^{2/3}$. 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:

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

$$P_O = q_O (LBD)^{2/3} = \Delta^{\frac{2}{3}} \left(q_O \left(\frac{D}{d \rho_B k_B C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right).$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

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

Таблиця 1.3.1.1 – Визначення проміжних коефіцієнтів

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^n = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,884
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,877
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,131
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\bar{P}_{OB}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,047
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доп}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{зв} - a_B$	0,812
	$m = q_{OB} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	1,528
	$A = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^e + q_{П} k_{мз} k_{доп} N_{ЕУ}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	7608
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

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

$$\Delta_2 = 10253 \text{ т.}$$

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

Таблиця 1.3.1.2 – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{\text{вч}} \rho} \right)$	1821
Маса обладнання, т	$P_{\text{ОБ}} = q_{\text{ОБ}} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{\text{вч}} \rho} \right)^{2/3}$	663
Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{ЕУ}} = q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}}$	63
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	58
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{3\text{В}} = a_{3\text{В}} \Delta_2$	103
Маса палива, т	$P_{\text{П}} = q_{\text{П}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}} \frac{R}{v_e} k_{\text{мз}} k_{\text{доо}}$	245
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	7300
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{\text{ОБ}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\text{П}} + P_3 + P_{3\text{В}} + P_B + P_B$	10253

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:

$$(D/d)_2 = (1,07\mu_B\eta_B + 0,16)k_e$$

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{BMC}} = (1,07 \cdot 1,54 \cdot 0,689 + 0,16)1,032 = 1,337$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1,337.$$

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

$$\begin{aligned} \frac{B}{d} &= \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p C_w^2}{3 C_b} \left(\zeta_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{k_p C_w^2}{6 C_b}} \\ &= \frac{0,05 + \sqrt{(0,05)^2 + \frac{1,0320 \cdot 0,900^2}{3 \cdot 0,832} \left(0,771 \cdot 1,33 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,900}{0,832}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{1,0320}{6} \cdot \frac{0,900^2}{0,832}} \\ &= 2,597 \end{aligned}$$

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

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{B}{d}\right)_2 = 2,597.$$

- Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_2 \cdot k_{\text{вч}} \cdot \rho} = \sqrt{5,01^3 \cdot 0,860 \cdot 3,32 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 7,42$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{L}{B}\right)_2 = 7,42.$$

1.3.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

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

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)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2(B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	17,5
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	129,6
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	5,3
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	7,2

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

1.4 Побудова теоретичного креслення та розрахунок елементів плавучості і 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.

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 4 (I.. IV);
- кількість ватерліній – 9 (0..8);
- кількість шпангоутів – 21 (0, 0.5, 1, 2, 3..17, 18, 19, 19.5, 20);
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 6,165\text{м.}$

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення (16.ДРБ.135.4111.06.01), креслення загального розташування (16.ДРБ.135.4111.06.03) та гідростатичні криві (16.ДРБ.135.4111.06.02).

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.

На проекції «Верхня палуба», засоби комунікацій, поперечні перебірки та розташовуємо в носовій та кормовій кінцівках якірно-швартовний пристрій.

1.6 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:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 128,2 + 0,48 = 0,73 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a_0 = 700$ мм.

Згідно з вимогами Правил Регістру, у форпіку та ахтерпіку шпация приймається $a_\phi = a_{axm} = 600$ мм. Перехідна шпация між форпіковою перебіркою та перерізом $0,2L$ від носового перпендикуляру приймається $a_n = 700$ мм.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки представлені у табл.1.6.1.

Таблиця 1.6.1 – Відсіки судна

Шпація	Відсік	Довжина
144-157	Ахтерпік	$L_{axm}=12\cdot0,6=7,2$ м
126-144	МВ	$L_{mv}=23\cdot0,75=16,18$ м
87-126	Трюм №3	$L_{трюм3}=33\cdot0,75=35,10$ м
48-87	Трюм №2	$L_{трюм2}=33\cdot0,65=35,10$ м
10-48	Трюм №1	$L_{трюм1}=31\cdot0,7=28,61$ м
0-10	Форпік	$L_{фор}=10\cdot0,6=6$ м
Сума		$L = 128,2$ м

Висоту другого дна розраховуємо за формулою:

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

$$\square = \frac{129,6-40}{570} + 0,04 \cdot 17,5 + 3,5 \cdot \frac{5,3}{126,4} = 0,968 \text{ м,}$$

Приймаємо $\square_{\partial\partial} = 1$ м.

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

$$b_{n\bar{o}} = 0,5 + \frac{DW}{20000} = 0,5 + \frac{6801}{20000} = 0,84 \text{ м.}$$

Приймаємо $b_{n\bar{o}} = 0,85$ 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:

$$X_{gi} = \frac{\overline{X}_{gi}}{\overline{L}} L ; Z_{gi} = \frac{\overline{Z}_{gi}}{\overline{H}} H.$$

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
Змн.3	Арк.	№ докум.№	ПідписПі	Дата		212

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл.1.6.2.1

Таблиця 1.6.2 – 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.	Hold 1	2910,744	97,44%	2836,374	-20,884	4,245
2.	Hold 2	3692,130	100%	3692,130	-52,166	4,042
3.	Hold 3	3692,128	100%	3692,128	-87,266	4,042
4.	Hatch 1	297,68	100%	297,68	-21,550	6,580
5.	Hatch 2	364,7	100%	364,7	-52,160	6,580
6.	Hatch 3	364,7	100%	364,7	-87,260	6,580
7.	Total Cargo	11322	99.57%	11247,6	-56,127	4,325
8.	DB Hold 1	391,216	0%	0,000	-34,167	0
9.	DB Hold 2	592,844	0%	0,000	-69,568	0
10.	DB Hold 3	588,969	29,64%	174,571	-87,023	0,159
11.	DB Engine room	119,515	98%	117,125	-	0,594
12.	Total Fuel	1692,545	17,23%	291,696	-96,194	0,334
13.	Forepeak	380,885	0%	0,000	-5,755	0,004
14.	Afrerpeak	811,175	0%	0,000	-	0
15.	Total Ballast	1192,060	0%	0,000	0	0

Перевірка:

$$W_B = P_B / \gamma_B = 7300 / 1,54 = 11242 \text{ м}^3.$$

Похибка:

$$\epsilon = \frac{11322 - 11242}{11322} \cdot 100\% = 0,70\% .$$

$$W_n = P_n / \gamma_n = 245 / 0,84 = 291,66.$$

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{293,993 - 291,69}{293,993} \cdot 100\% = 0,783\% < 5\% .$$

Проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж, паливо.

1.7 Удиферентування проекту судна

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 І стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту, отримуючи дані з Loadcase (табл. 1.7.1).

Таблиця 1.7.1 – Loadcase для І-го стану навантаження

	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
1	Hull	1	1821,000	1821,000			-79,500	0,000	5,020	0,000	User Specifi
2	Engine	1	63,000	63,000			-121,000	0,000	5,060	0,000	User Specifi
3	Equipment	1	663,000	663,000			-98,000	0,000	8,950	0,000	User Specifi
4	Margin	1	103,000	103,000			-121,000	0,000	6,460	0,000	User Specifi
5	Total Lightship			2650,000			-86,728	0,000	6,060	0,000	
6	Hold 1	97,44%	1889,073	1840,807	2910,744	2836,374	-20,884	0,000	4,245	0,000	User Specifi
7	Hold 2	100%	2396,193	2396,193	3692,130	3692,130	-52,166	0,000	4,042	0,000	User Specifi
8	Hold 3	100%	2396,191	2396,191	3692,128	3692,128	-87,266	0,000	4,042	0,000	User Specifi
9	Hatch 1	1	193,300	193,300			-21,550	0,000	6,580	0,000	User Specifi
10	Hatch 2	1	236,800	236,800			-52,160	0,000	6,580	0,000	User Specifi
11	Hatch 3	1	236,800	236,800			-87,260	0,000	6,580	0,000	User Specifi
12	Total Cargo			7300,090			-56,127	0,000	4,325	0,000	
13	DB Hold1	0%	328,621	0,000	391,216	0,000	-24,109	0,000	0,000	0,000	Maximum
14	DB Hold 2	0%	497,989	0,000	592,844	0,000	-52,166	0,000	0,000	0,000	Maximum
15	DB Hold 3	29,64%	494,734	146,639	588,969	174,571	-86,941	0,000	0,159	12141,367	IMO A.749(
16	DB ER	98%	100,393	98,385	119,515	117,125	-109,859	0,000	0,594	0,000	Maximum
17	Total Fuel	17,23%	1421,738	245,024	1692,545	291,696	-96,143	0,000	0,334	12141,367	
18	Forepeak	0%	390,407	0,000	380,885	0,000	-5,755	0,000	0,000	0,000	Maximum
19	AftPeak	0%	831,455	0,000	811,175	0,000	-122,486	0,000	0,000	0,000	Maximum
20	Total Ballast	0%	1221,862	0,000	1192,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
21	Supply	1	58,000	58,000			-105,070	0,000	7,380	0,000	User Specifi
22	Total Supply			58,000			-105,070	0,000	7,380	0,000	
23	Total Loadcase			10253,115	13179,607	10512,328	-65,269	0,000	4,695	12141,367	
24	FS correction								1,184		
25	VCG fluid								5,879		

Таблиця 1.7.2 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	2650	-86,728	6,460	-229829,500	16059,430
2	Вантаж	7300	-56,127	4,325	-409728,993	31572,296

3	Постачання	58	-105,070	7,380	-6094,060	428,040
4	Паливо	1421,738	-96,194	0,334	-23557,405	81,784
	Σ	6830	-64,330	4,697	-439380,458	32082,12
	Водотоннажність повна	10253	-65,270	4,695	-669209,958	48141,549

Удиферентування проекту виконується у середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: І стан навантаження 100% вантажу, 100% запасів, 0 % баласту.

На рис 1.1 представлена візуалізація посадки судна, а у табл. 1.12 – параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (табл.1.7.3).

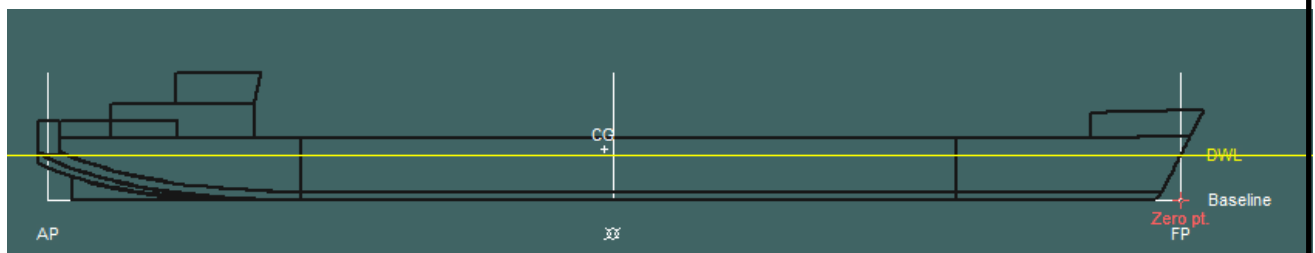


Рисунок 1.7.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

Таблиця 1.7.3 – Посадка судна

Осадка, м	5,129
Водотонажність, т	10253
Крен град	0
Осадка на форштевні, м	5,1
Осадка на ахтерштевні, м	5,1
Осадка в точці LCF, м	5,1
Диферент (+ означає корма нижче), м	0,0
Довжина по ватерліній, м	129,343
Максимальна ширина по ватерлінії, м	17,295
Площа змоченої поверхні, м ²	3252,582
Площа ватерлінії, м ²	2125,027
Призматичний коефіцієнт (Cp)	0,875
Повний об'ємний коефіцієнт (Cb)	0,869
Максимальний коеф. площі пререрізу (Cm)	0,996
Коефіцієнт площі ватерлінії (Cwp)	0,950
Положення центра об'єму (LCB), м (+ вперед)	-65,270
Положення центра площі ватерлінії (LCF), м (+ вперед)	-67,456

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота центра плавучості (KB), м	2,670
Висота центра тяжіння (KG), м	5,879
Метацентрична висота поперчна (BMt) м	5,101
Повздовжня метацентрична висота (BML) м	269,651
Метацентрична висота (GMt) м	1,891
Повздовжня метацентрична висота (GML) м	266,441
Відстань від кіля до поперечного метacentра (KMt), м	7,771
Відстань від кіля до повздовжнього метacentра (KML), м	272,320
Занурення на 1см (TPC) т/см	21,782
Момент диференту (MTc) т	213,093
Відновлюючий момент при 1° нахилу, т·м	338,393
Максимальний кут нахилу палуби, град	0,0137
Кут диферента (+ означає корма нижче), градуси	0,0137

В результаті отримуємо диферент 0м на корму.

Таким чином $X_c = -65,270$; $X_g = -67,456$.

Згідно даним табл.1.7.3 розрахунковий стан має такі характеристики:

$T_n = 5,1$ – осадка носом, м;

$T_k = 5,1$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0$ – 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:

$-\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 129,6 = 1,0368$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0 < 1,0368$, умова задовольняє;

$-T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{129,6}{40} = 3,24$ м – умова відсутності слемінгу: $5,4 > 3,24$, умова задовольняє;

$-T_k \geq d_{28} - d_{28} = 3,825$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $5,4 > 3,825$ – умова задовольняє.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- $T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $5,4=5,4$ – умова задовольняє.

Висновок:

Таким чином $X_c = -65,270$; $X_g = -67,456$.

Отже, проект у повному вантажі удиферентовано.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.01	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.02			
Змн.								
					Перевірка морехідних якостей судна	Літ.		Аркушів
Студент	Пономаренко М.Р.							
Консульт.	Астахова А.О.						28	
Керівник	Пашенко Ю.М.					НУК		
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

Розділ 2 Перевірка морехідних якостей судна

2.1 Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності

2.1.1 Розрахунок та побудова гідростатичних кривих

Криві елементів теоретичного креслення – графічне зображення змін елементів судна в залежності від осадки судна.

Креслення включає наступні криві:

1. Площа ватерлінії S , м²:

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

де y – текуча ордината ватерлінії.

2. Абсциса центру ваги площі ватерлінії X_f , м:

$$X_f = \frac{M_y}{S},$$

де $M_y = 2 \int_{-L/2}^{L/2} x y dy$ – статичний момент площі ватерлінії відносно лінії

перетину її з площиною міделя.

3. Об'ємна водотоннажність V , м³:

$$V = \int_{-L/2}^{L/2} \omega dx,$$

де $\omega = \int_0^{17,2} y dz$ – площа шпангоута.

4. Вагова водотоннажність Δ , т.:

$$\Delta = V \cdot \gamma \cdot k_{\text{вк}},$$

5. Абсциса центра величини X_c , м:

$$X_c = \frac{M_{\text{mid}}}{V},$$

де $M_{\text{mid}} = \int_{-L/2}^{L/2} M_y dz$ – статичний момент об'єму підводної частини судна

відносно площини міделя.

6. Апліката центру величини, Z_c м: $Z_c = \frac{M_{\text{оп}}}{V},$

де $M_{оп}$ – статичний момент об'ємної водотоннажності відносно основної площини.

1. Поздовжній момент інерції площі ватерлінії I_y , м⁴:

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

2. Поперечний момент інерції площі ватерлінії I_x , м⁴:

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

3. Поздовжній метацентричний радіус R_y , м:

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

4. Поперечний метацентричний радіус R_x , м:

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

5. Апліката поперечного метacentра Z_m , м:

$$z_m = z_c - r$$

6. Коефіцієнт повноти площі ватерлінії C_{wp} , м:

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

де $y_{\max}$ – найбільша ордината зануреної частини міделю;

L_i – довжина судна за даною ватерлінією, знята з проєкцій «Бік» або «Напівширота» теоретичного креслення.

7. Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута C_m , м:

$$C_m = \frac{\omega_{10}}{2y_{\max} k \Delta d},$$

8. Коефіцієнт загальної повноти C_b , м:

$$C_b = \frac{V}{2y_{\max} L_i d_i},$$

де y – найбільша ордината зануреної частини судової поверхні;

L_i – найбільша теоретична довжина зануреної частини судна;

d_i – осадка.

Для розрахунку елементів теоретичного креслення використовуємо програму Maxsurf Stability у вкладці Upright Hydrostatics. Вказавши у меню «Analysis» диферент, осадку та водотоннажність у кількості 10 кроків, отримаємо результати, які представлені нижче на рис. 2.1.1, рис.2.1.2, в таблиці 2.1.1.

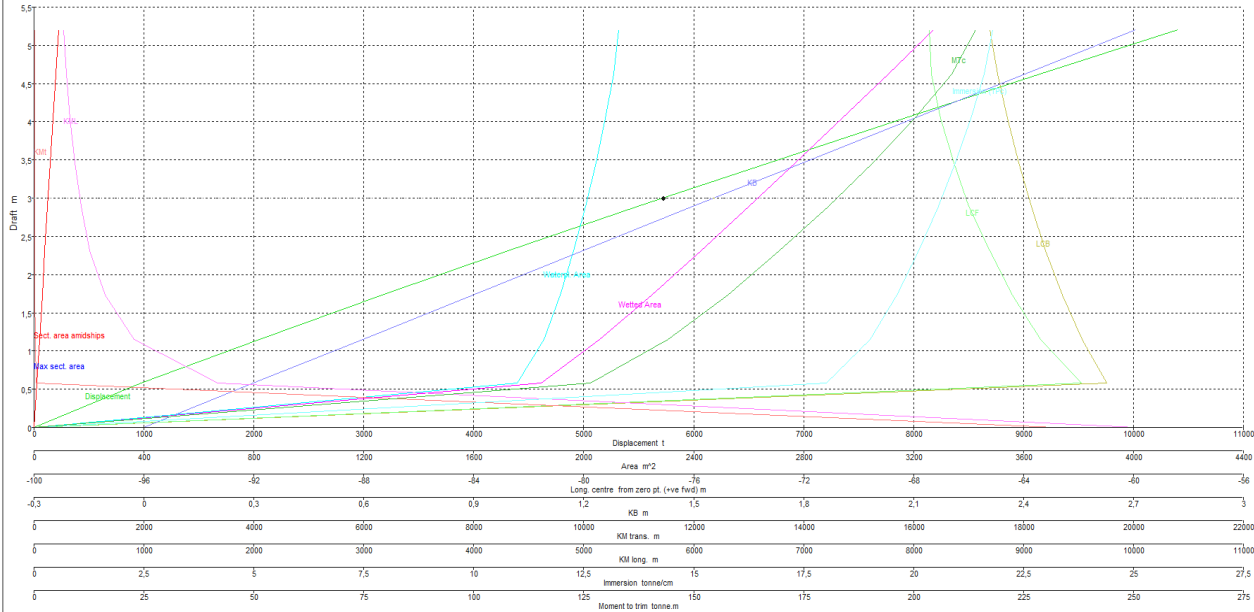


Рис. 2.1.1. Розрахунок елементів теоретичного креслення

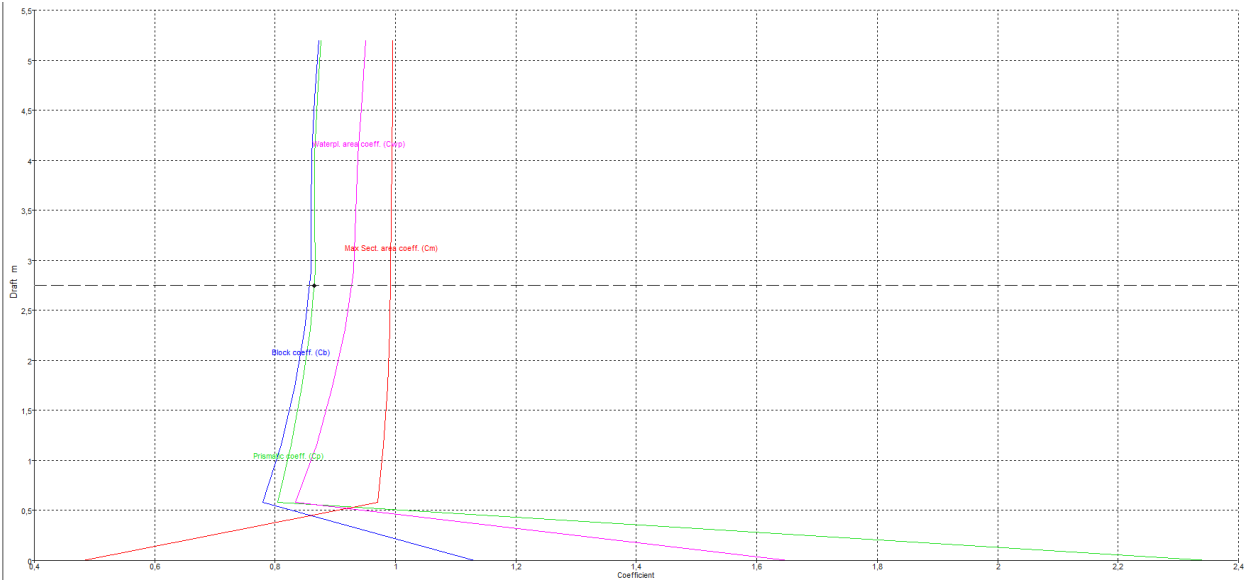


Рис. 2.1.2. Коефіцієнти повноти

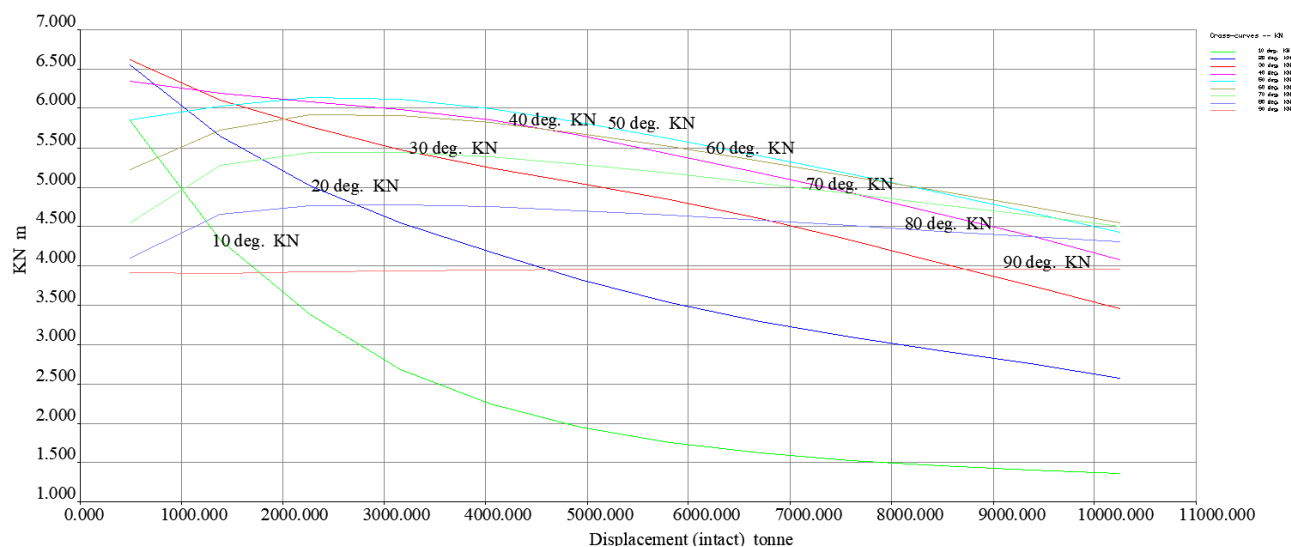


Рис. 2.1.3. Пантокарени

Таблиця 2.1.1 – Розрахунок елементів теоретичного креслення

	Draft Amidships m	0,000	0,578	1,156	1,733	2,311	2,889	3,467	4,044	4,622	5,200
1	Displacement t	0,0002	973,6	2047	3164	4313	5489	6689	7910	9151	10405
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	0,578	1,156	1,733	2,311	2,889	3,467	4,044	4,622	5,200
4	Draft at AP m	0,000	0,578	1,156	1,733	2,311	2,889	3,467	4,044	4,622	5,200
5	Draft at LCF m	0,000	0,578	1,156	1,733	2,311	2,889	3,467	4,044	4,622	5,200
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	0,989	122,947	123,355	123,652	123,948	124,750	126,598	128,198	129,094	129,386
8	Beam max extents on	2,685	17,144	17,298	17,293	17,290	17,290	17,290	17,290	17,290	17,298
9	Wetted Area m²	4,385	1845,43	2058,13	2246,39	2426,13	2599,90	2770,00	2940,29	3107,84	3272,16
10	Waterpl. Area m²	4,384	1758,46	1854,08	1914,81	1962,67	2006,59	2044,35	2078,71	2107,78	2126,92
11	Prismatic coeff. (Cp)	2,348	0,804	0,827	0,844	0,858	0,866	0,866	0,866	0,870	0,877
12	Block coeff. (Cb)	1,131	0,780	0,810	0,833	0,850	0,859	0,860	0,861	0,865	0,872
13	Max Sect. area coeff. (C)	0,482	0,970	0,980	0,987	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	0,996
14	Waterpl. area coeff. (C)	1,651	0,834	0,869	0,895	0,916	0,930	0,934	0,938	0,944	0,950
15	LCB from zero pt. (+ve)	-99,942	-60,973	-61,875	-62,593	-63,190	-63,712	-64,173	-64,581	-64,937	-65,238
16	LCF from zero pt. (+ve)	-99,942	-61,898	-63,384	-64,395	-65,218	-65,996	-66,534	-67,015	-67,357	-67,433
17	KB m	0,000	0,298	0,597	0,897	1,197	1,498	1,799	2,101	2,404	2,706
18	KG m	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200
19	BMT m	18572,3	41,716	21,639	14,580	11,030	8,897	7,458	6,428	5,645	5,032
20	BML m	10022,5	1671,99	906,795	643,694	507,479	425,509	368,923	327,658	295,073	266,409
21	GMt m	18567,1	36,814	17,036	10,277	7,027	5,194	4,057	3,329	2,849	2,539
22	GML m	10017,3	1667,09	902,192	639,390	503,476	421,807	365,522	324,559	292,277	263,915
23	KMt m	18572,3	42,014	22,236	15,477	12,227	10,394	9,257	8,529	8,049	7,739
24	KML m	10022,5	1672,29	907,392	644,590	508,676	427,007	370,722	329,759	297,477	269,115
25	Immersion (TPC) tonne/	0,045	18,024	19,004	19,627	20,117	20,568	20,955	21,307	21,605	21,801
26	MTc tonne.m	0,000	126,606	144,081	157,820	169,392	180,597	190,708	200,265	208,621	214,202
27	RM at 1deg = GMt.Disp.	0,065	625,528	608,722	567,566	528,979	497,590	473,611	459,597	454,941	461,001
28	Max deck inclination de	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	Trim angle (+ve by ster	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

2.2 Перевірка вимог Правил Регістру до остійності судна

2.2.1 Розрахунок амплітуди хитавиці

За допомогою програми Maxsurf Stability визначимо плече статичної остійності, а за допомогою Maxsurf Modeler Advanced – площу парусності (A_v) та аплікату центру парусності (Z_v).

Використаємо формулу для розрахунку амплітуди хитавиці:

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S}$$

де K – коефіцієнт, що враховує вплив скулових кілів, прийнято $K=1$;

X_1 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від відношення ширини до осадки (B/d). Використовуючи таблицю 2.1.5.1-1 прийнято $X_1=0,85$;

X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта загальної повноти C_b . Використовуючи таблицю 2.1.5.1-2 прийнято $X_2=1$;

$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(z_g - d)}{d}$ – параметр, який не повинен братися більше 1;

S – безрозмірний множник, що залежить від району плавання судна і періоду хитавиці. Цей множник розраховується за таблицею 2.1.5.1-3, попередньо визначивши період хитавиці за формулою нижче:

$$T = 2cB / \sqrt{h}$$

де $c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L_{wl}}{100}$;

h – виправлена метацентрична висота; L_{wl} – довжина судна по ватерлінії.

$K=1$; $X_1=0,85$ ($B/d=17,3/5,3=3,26$); $X_2=1$ ($C_b = 0,860$)

Таблиця 2.1.5.1-1 Множник X_1

B/d	$\leq 2,4$	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	$\geq 3,5$
X_1	1,00	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,80

Таблиця 2.1.5.1-2 Множник X_2

C_b	$\leq 0,45$	0,50	0,55	0,60	0,65	$\geq 0,70$
X_2	0,75	0,82	0,89	0,95	0,97	1,00

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(5,49 - 5,3)}{5,3} = 0,751;$$

$$c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L_{wl}}{100} = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{17,3}{5,3} - 0,043 \cdot \frac{128,2}{100} = 0,393;$$

$$T = 2cB / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,393 \cdot 17,3 / \sqrt{1,891} = 9,88;$$

$$S = 0,0875;$$

Таблиця 2.1.5.1-3 Множник S

Район плавання судна	T, с									
	≤5	6	7	8	10	12	14	16	18	≥20
Необмежений (включаючи район А)	0,100	0,100	0,098	0,093	0,079	0,065	0,053	0,044	0,038	0,035
Обмежений R1, R2, R2-RSN, R3-RSN, A-R1, A-R2, A-R2-RSN, B-R3-RSN, C-R3-RSN	0,100	0,093	0,083	0,073	0,053	0,040	0,035	0,035	0,035	0,035

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,751 \cdot 0,0875} = 23,75^\circ$$

2.2 Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру (a) і

перекидального моменту (b):

$$A_v = \sum S_i = 490,526 \text{ м}^2 \text{ площа парусності};$$

$$Z_B = 7,511;$$

$Z_v = Z_B - d/2 = 7,511 - 5,3/2 = 4,861 \text{ м}$ – плече парусності, яке приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності A_v , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.

Тиск вітру $P_v = 504 \text{ Па}$, $D = 10253 \text{ т}$ – водотоннажність, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

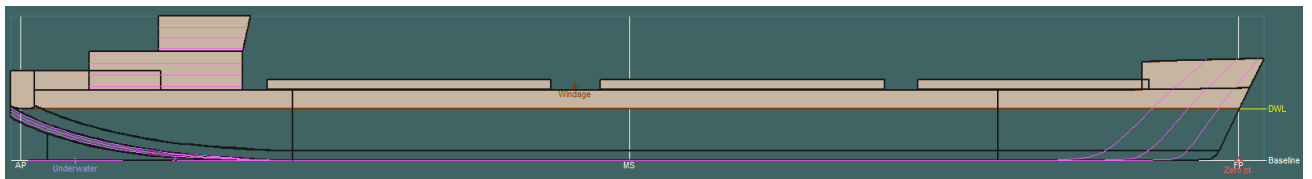


Рис. 2.2.1 – Схема визначення площі парусності

Таблиця 2.2.1 – Розрахунок площі парусності.

№ елементів	Площа S_i , м	Z_i	Момент $S_i Z_i$
1	331,149	6,203	2 054,117
2	62,293	9,025	562,194
3	32,951	12,754	420,257
4	29,890	7,643	228,449
5	29,943	7,643	228,854
6	24,301	7,643	185,732
Сума	490,526	7,503	3 680,603

$$l_{w2} = l_{w1} \cdot 1,5 = 0,0119 \cdot 1,5 = 0,0179 \text{ м} \quad l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 490,526 \cdot 4,861}{1000 \cdot 9,81 \cdot 10253} = 0,0119 \text{ м}$$

Таблиця 2.2.2 – Розрахунок плечей остійності

	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	-1,023	-0,874	-0,446	0,000	0,446	0,874	1,023	0,980	0,755	0,429	0,050	-0,350	-0,747	-1,123	-1,456
2	Area under GZ curve f	18,6092	8,9416	2,1960	0,0000	2,1982	8,9329	18,6402	28,8022	37,6055	43,5827	46,0061	44,5161	39,0229	29,6416	16,7223
3	Displacement t	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10253	10252	10253	10253	10253
4	Draft at FP m	5,694	5,227	5,109	5,116	5,109	5,228	5,698	6,385	7,330	8,770	11,521	19,479	n/a	11,661	3,709
5	Draft at AP m	5,489	5,193	5,137	5,143	5,137	5,192	5,486	6,108	6,999	8,381	10,952	18,359	n/a	10,297	2,898
6	WL Length m	129,635	129,400	129,340	129,344	129,340	129,400	129,637	130,042	131,175	131,913	131,979	131,660	130,926	129,714	128,118
7	Beam max extents on	15,779	18,391	17,556	17,295	17,556	18,391	15,780	12,428	10,771	10,102	9,925	9,919	9,873	10,073	10,603
8	Wetted Area m²	3709,45	3526,98	3266,18	3252,57	3266,33	3526,93	3709,63	3801,35	3821,12	3834,68	3842,65	3849,72	3843,11	3855,35	3855,37
9	Waterpl. Area m²	1624,88	1848,43	2147,07	2125,03	2147,07	1848,38	1624,84	1382,37	1174,64	1045,25	965,655	922,120	908,552	923,991	969,601
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,894	0,883	0,876	0,875	0,876	0,882	0,893	0,908	0,872	0,847	0,832	0,821	0,815	0,812	0,815
11	Block coeff. (Cb)	0,552	0,554	0,690	0,869	0,690	0,554	0,552	0,618	0,649	0,653	0,649	0,654	0,681	0,629	0,579
12	LCB from zero pt. (+ve)	-65,276	-65,272	-65,269	-65,264	-65,269	-65,269	-65,266	-65,264	-65,257	-65,264	-65,255	-65,260	-65,276	-65,264	-65,264
13	LCF from zero pt. (+ve)	-66,173	-67,549	-67,158	-67,455	-67,158	-67,550	-66,177	-64,802	-64,267	-64,079	-64,077	-64,161	-64,314	-64,651	-65,163
14	Max deck inclination de	30,0001	20,0000	10,0000	0,0125	10,0000	20,0000	30,0001	40,0001	50,0001	60,0000	70,0000	80,0000	90,0000	100,000	110,000
15	Trim angle (+ve by ster)	-0,0917	-0,0151	0,0126	0,0125	0,0126	-0,0160	-0,0948	-0,1239	-0,1476	-0,1739	-0,2542	-0,5006	-90,000	-0,6095	-0,3621

2.3 Розрахунок критерія погоди.

Остійність судна за критерієм погоди вважається достатньою, якщо площа b дорівнює або більша площі a , тобто $K \geq 1$. Де площа b обмежена кривою відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу і кутом крену.

Перевірка умов остійності згідно з вимогами Регістра судноплавства України:

- максимальне плече діаграми статичної остійності $l_{\max} = 1,105 \text{ м} > 0,2 \text{ м}$.
- кут заочування $\theta_{\text{зак}} = 71,2^\circ > 60^\circ$;
- кут максимуму діаграми $\theta_{\max} = 32,7^\circ > 30^\circ$;
- критерій погоди: $K = \frac{a}{b} = \frac{0,67}{0,24} = 2,791$

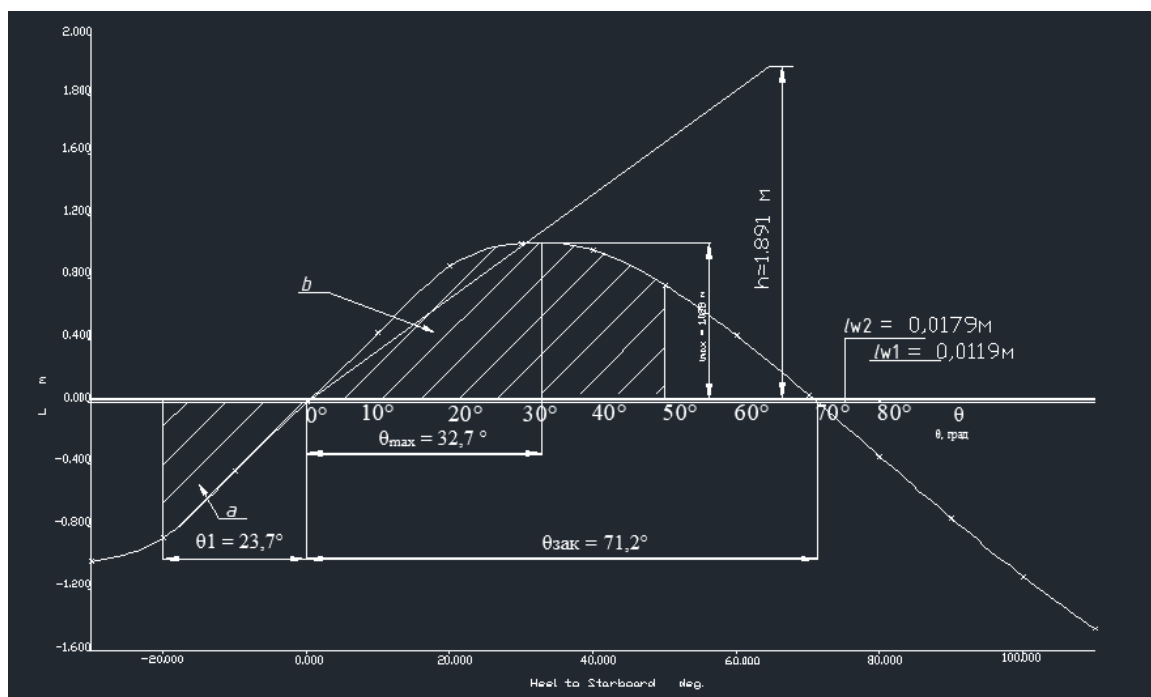


Рис. 2.3.1 – Діаграма статичної остійності

Відповідність вимогам Правил Регістру судноплавства України до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria. Таблицю наведено нижче:

Таблиця 2.3.1 – відповідність вимогам Правил Регістру.

Значення	Дані судна	Регістр
K	2,791	$K \geq 1$
$l_{\max}$, м	1,028	$l_{\max} \geq 0,2$
$\theta_{\max}$	32,7	$\theta_{\max} \geq 25^{\circ}$
$\theta_{\text{зак}}$	71,2	$\theta_{\text{зак}} \geq 60^{\circ}$
h, м	1,891	$h \geq 0,15$
S_{30}	0,3253 м.рад	$\geq 0,055$ м.рад
S_{40}	0,5026 м.рад	$\geq 0,09$ м.рад
$S_{40} - S_{30}$	0,1773 м.рад	$\geq 0,03$ м.рад

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03						
Змн.											
					Перевірка морехідних якостей судна	Літ.			Аркушів		
Студент	Пономаренко М.Р.								36		
Консульт.	Пащенко Ю.М.					НУК					
Керівник	Астахова А.О.										
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.										

3.РОЗРАХУНОК КОРПУСУ СУДНА ПО ПРАВИЛАМ РЕГІСТРУ.

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУДНО, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

3.1.1 Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проектоване судно є контейнеровозом з кормовим розташуванням машинного відділення і житлової надбудови, з подовженим баком, U-образним носом і транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, поперечні водонепроникні перегородки.

Схему поздовжнього перерізу корпусу з розділенням судна на відсіки див. (рис.1).

Категорія	Позначення	Величина
Довжина, м	L	128.2
Ширина, м	B	17.5
Висота борту, м	D	7.2
Осадка, м	d	5.2
Коефіцієнт загальної повноти	C_B	0.860
Коефіцієнт повноти площі МШ	C_M	0.995
Коефіцієнт повноти площі ВВЛ	C_W	0.918
Швидкість ходу експлуатаційна, вузли	v	10.7

3.1.2. Вибір шпаций

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою

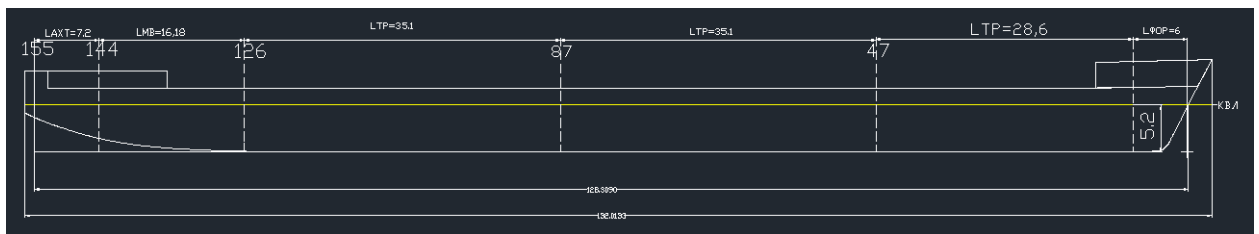
$$a_0 = 0,002L + 0,48$$

м, де L - довжина між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0,002 \cdot 128.2 + 0,48 = 0,736 \text{ м.}$$

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

Приймаю: поздовжня шпация рівна поперечній $a_0 = 800 \text{ мм.}$



3.1.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна

Короткі надбудови і рубки, бортове перекриття набираємо за поперечною системою набору. Перекриття верхньої палуби і днищове перекриття судна набираємо за поздовжньою системою, що забезпечує необхідну міцність і стійкість їх елементів (пластин) при мінімальних витратах матеріалу.

3.1.4. Вибір марки і категорії сталі

Вибір сталі залежить від ступеня відповідальності, умов роботи конструкцій та економічних міркувань. Сталі підвищеної міцності рекомендується застосовувати при довжині суден більше 130 м або при можливих температурах експлуатації нижче -20°C .

Для виготовлення суднового корпусу використовуємо суднобудівну сталь підвищеної міцності з границею плинності $R_{eH} = 295 \text{ МПа}$.

Характеристика сталі наведена в табл.3.1.

Таблица 3.1

Границя плинності, R_{eH}		295 МПа
Коефіцієнт використання механічних властивостей, η		0,78
Нижня границя температури, $t_{\min}$		-60°C
Відносне подовження		18 %
Приблизна вартість 1т (відносно вартості 1т сталі ВСт3сп)		130 %
Нормативна границя плинності	За нормальним напруженням, σ_n	301,3 МПа
	За дотичним напруженням, τ_n	171,7 МПа

Як розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взято нормативні границі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n

напруженнями: $\sigma_n = 235/\eta$, $\tau_n = 0.57 \cdot \sigma_n$, МПа, де η - коефіцієнт, що визначається за табл.3.1.

3.1.5. Креслення обводів мідель-шпангоута

Підйом t лінії днища і радіус R закруглення скули визначаються за формулами

$$t = d \cdot (1 - C_m); \quad R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0.86}} \text{ м,}$$

$$t = 5.3 \cdot (1 - 0.860) = 0.742 \text{ м;} \quad R = \sqrt{\frac{17.5 \cdot 0.742}{0.86}} = 3.88 \text{ м;}$$

де $d = 5.2$ м – осадка; $B=17.5$ м – ширина судна; $C_m = 0.860$ – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута. Висота подвійного дна розраховується за формулою

$$h = \frac{L - 40}{570} + 0.04 \cdot B + 3.5 \cdot \frac{d}{L} \geq 0.65 \text{ м}$$

$$h = \frac{128.2 - 40}{570} + 0.04 \cdot 17.5 + 3.5 \cdot \frac{5.3}{128.2} = 0.99 \text{ м,}$$

приймаю $h = 1.00$ м.

Внутрішнє дно на судні простягається від форпикової до ахтерпикової перегородки та від борту до борту.

Крайній пояс внутрішнього дна (міждонний лист) горизонтальний.

Ширина вантажних люків і шахти машинного відділення наведена в завданні. Ширина горизонтального кіля визначається за формулою

$$b_k = 800 + 5 \cdot L \leq 2000 \text{ мм;}$$

$$b_k = 800 + 5 \cdot 128.2 = 1441.03 \text{ мм.}$$

Приймаю $b_k = 2000$ мм.

Комінгс верхньої палуби знаходиться в одній площині з днищевими стрингерами. Місця розміщення поздовжніх балок основного набору позначаються, починаючи від діаметральної площини, і не збігаються з пазами листів. Мінімальна відстань між пазами листів і лініями зварювання поздовжніх балок — 75 мм.

3.1.6 Урахування зносу і корозії в'язей корпусу

Урахування впливу зносу і корозії на розміри в'язей корпусу ґрунтується на нормуванні міцності в середині періоду експлуатації конструкції. Будівельна товщина, яку вимагають Правила для листових конструкцій, визначається за формулою

$$S = S' + \Delta S; \Delta S = U(T - 12),$$

де S' - товщина листа, мм, яка відповідає середині періоду служби судна; ΔS - запас на знос і корозію, мм; U - середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу і корозії, яке беруть відповідно до табл. 3.2; T - період служби конструкції, роки, (береться $T = 24$ роки); якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$.

Таблиця 3.2.

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	U , мм/рік, група I
1.1	Настил верхньої палуби	0,10
1.2	Настил нижніх палуб і платформ	0,11
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0,17
3.1.4	Зовнішня обшивка дна	0,20
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,15
4.1.4	Настил другого дна в машинному відділенні	0,20
4.2.4	Міждонний лист	0,20
5.1.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,13
6.1	Поздовжні балки палуби, бімси, рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,12
7.1	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	0,10
8.2	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	0,20
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,10

3.2. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

3.2.1. Розрахункові навантаження на корпус судна

Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря визначаються статичним P_{st} і хвильовим P_w тиском води. Розрахунковий статичний тиск P_{st} , кПа, для точок, які розташовані нижче ватерлінії, визначається за формулою $P_{st} = 10 \cdot z_i$, де z_i - відстань точок прикладання навантаження від ватерлінії, м. Розрахунковий тиск для точок прикладання навантаження, розташованих нижче ватерлінії,

$$P = P_w + P_{st}, \text{ кПа};$$

для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

$$P = P_w, \text{ кПа}.$$

Хвильовий тиск:

– для точок прикладання навантажень, розташованих нижче ватерлінії,

$$P_w = P_{wo} - 1,5 \cdot C_w \cdot z_i / d, \text{ кПа}$$

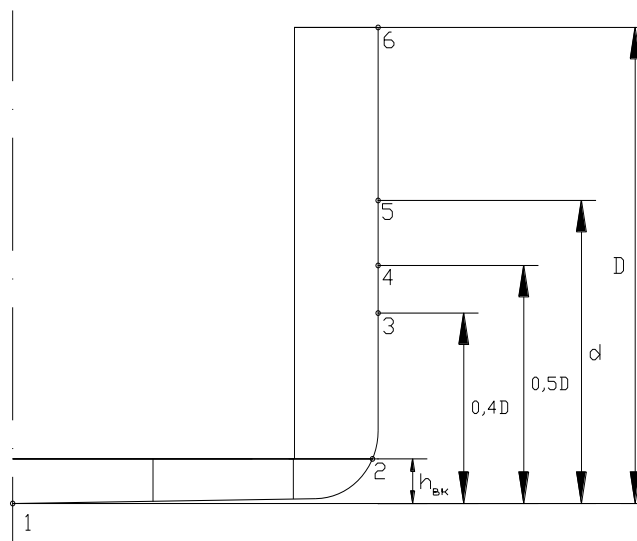


Рисунок №2. Визначення навантажень з боку моря

Для точки 1, коли $z_i = 5,3$ м $P_w = 27,09 - 1,5 \cdot 8,49 \cdot 5,3 / 5,3 = 14,34$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 5,3 = 53 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 14,34 + 53 = 67,34 \text{ кПа}$$

Для точки 2, коли $z_i = 4,3$ м $P_w = 27,09 - 1,5 \cdot 8,49 \cdot 4,3 / 5,3 = 16,75$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 4,3 = 43 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 16,75 + 43 = 59,75 \text{ кПа}$$

Для точки 3, коли $z_i = 2,42$ м $P_w = 27,09 - 1,5 \cdot 8,49 \cdot 2,42 / 5,3 = 21,27$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 2,42 = 24,2 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 21,27 + 24,2 = 45,47 \text{ кПа}$$

Для точки 4, коли $z_i = 1,7$ $P_w = 27,09 - 1,5 \cdot 8,49 \cdot 1,7 / 5,3 = 23,0$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 1,7 = 17 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 23 + 17 = 40 \text{ кПа}$$

Для точки 5, коли $z_i = 0$ $P_w = P_{wo} = 26,1$ кПа

$$P_{st} = 0$$

— для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

$$P_w = P_{wo} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i \geq P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 \text{ м}$$

Для точки 6, коли $z_i = 1,9$ $P_w = P_{wo} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i \geq P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5$

$$P_w = 27,09 - 7,5 \cdot 0,335 \cdot 1,9 = 22,31 \text{ кПа},$$

$$P_{\min} = 0,03 \cdot 128,2 + 5 = 8,846 \text{ кПа}; P_w = 21,69 \text{ кПа} > P_{\min} = 8,846 \text{ кПа}$$

$$P_{wo} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x, \text{ - хвильовий тиск}$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
	.	.	.	с		.42

Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6, при цьому повинно бути $a_x \geq 0,267$, C_w - хвильовий фактор:

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

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - 128,2}{100} \right)^{3/2} = 8,49$$

$$a_v = \frac{0,8 \nu_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5; \quad a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267;$$

$$a_v = \frac{0,8 \cdot 16 \cdot \left(\frac{128,2}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{128,2}} + 1,5 = 1,89;$$

$$a_x = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{37,2}{128,2} \right) = 0,335, \text{ приймаю } a_x = 0,335$$

$$a_v \cdot a_x = 1,89 \cdot 0,335 = 0,63, \text{ приймаю } a_v \cdot a_x = 0,63$$

$$P_{wo} = 5 \cdot 8,49 \cdot 0,63 = 27,09 \text{ кПа.}$$

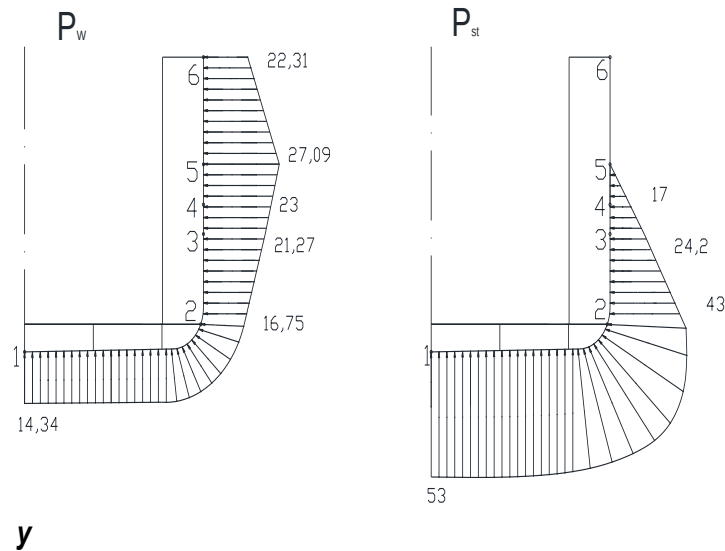
де $\nu_0 = 10,7$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$k_x = 0,8$ для поперечних перерізів у ніс від міделя;

$x_1 = 37,2$ м - відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього носового перпендикуляра, м.

№ точок	Відстань до точок z_i , м	Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Розрахунковий тиск P , кПа
1	5,3	53	14,34	67,34
2	4,3	43	16,75	59,75
3	2,42	24,2	21,27	45,47
4	1,7	17	23	40
5	0	0	27,09	27,09
6	1,9	-	22,31	22,31

Розподіл навантажень P_w і P_{st} по контуру поперечного перерізу судна показаний нижче:



Малюнок №3. Величини хвильового та статичного тисків

3.2.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на друге дно від контейнерів визначається за формулою

$$P_s = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) \geq 20 \text{ кПа},$$

де $P_k=14$ – вага одного контейнера, т; $N=2$ – кількість ярусів контейнерів в трюмі, од.; $S_k=2,44 \cdot 6,1=14,88$ – площа основи контейнера, м^2 , $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; a_z – розрахункове прискорення, м/с^2 , у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

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

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 кільової і бортової хитаючи.

Проекції прискорень визначаються за формулами:

$$a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g, \text{ м/с}^2 \quad a_{kz} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_k} \right) \cdot \psi \cdot x_0, \text{ м/с}^2$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_\theta} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0, \text{ м/с}^2$$

де $T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{v_0}{L} \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}$; $T_\theta = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}}, \text{ с};$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}}; \quad \theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}},$$

де T_k, T_θ – періоди кильової і бортової хитавиці, с, відповідно; ψ, θ – розрахункові кути диференту і крену, рад, відповідно; $x_0 = 26,91$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м; $y_0 = B/2 = 12,4$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м; $v_0 = 16,0$ вузл. – специфікаційна швидкість судна, вузли; $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт; $h = 0,07B = 1,74$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

Отримаємо: $a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{128,2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,8 \text{ м/с}^2,$

$$T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{v_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{128,2}}{1 + 0,4 \cdot \frac{10,7}{128,2} \cdot \left(\frac{128,2}{10^3} + 0,4 \right)} = 8,9 \text{ с}$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 128,2 \cdot 10^{-2}} = 0,100 \text{ рад.}$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{8,9} \right)^2 \cdot 0,100 \cdot 26,91 = 1,35 \text{ м/с}^2,$$

$$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 17,5 = 1,225 \text{ м.}$$

$$T_\theta = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 17,5}{\sqrt{1,225}} = 12,64 \text{ с};$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 128,2 \cdot 10^{-2}} = 0,36 \text{ рад.}$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						45.
				с		

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_{\theta}} \right) \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{12,64} \right)^2 \cdot 0,36 \cdot 8,75 = 0,755 \text{ м/с}^2.$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,8^2 + 1,35^2 + 0,4 \cdot 0,788^2} = 2,3, \text{ м/с}^2,$$

$$P_{\theta} = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) = \frac{14 \cdot 2}{14,88} \cdot 9,81 \cdot \left(1 + \frac{2,3}{9,81} \right) = 22,8, \text{ кПа.}$$

$$P_{\theta} = 22,8 \text{ кПа} \geq 20 \text{ кПа}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

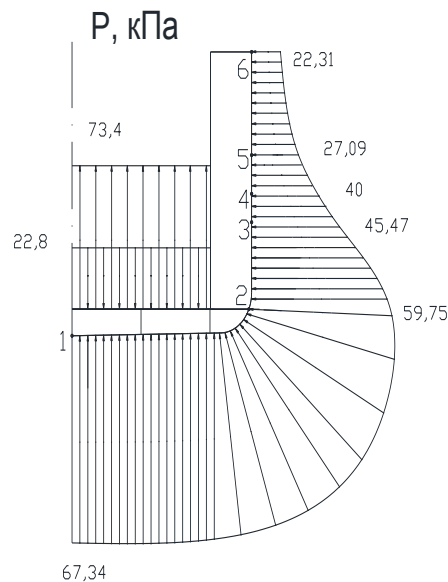
$$P_{\text{дун}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5), \text{ кПа.}$$

де $Z_i = D - h_{\text{вк}} = 7,2 - 1 = 6,2 \text{ м.}$

Маємо: $P_{\text{дун}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,2 + 1,5) = 77,42, \text{ кПа.}$

Розподіл навантажень: статичного; викликаного вантажем, що перевозиться; розрахунковий тиск на друге дно від контейнерів та від випробувального напору по контуру поперечного перерізу судна, показані

нижче:



3.3. ЗАГАЛЬНА ПОЗДОВЖНЯ МІЦНІСТЬ СУДНА

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						46
б	.	.	.	с		

Для розрахунку загальної поздовжньої міцності корпусу судна необхідно визначити згинальні моменти M_{sw} і перерізуючі сили N_{sw} на тихій воді для основних випадків навантаження судна за стандартними програмами, причому розрахунковий згинальний момент на тихій воді, одержаний інтегруванням кривої навантаження судна, повинен бути не менший від $M_{sw} = \pm 76 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}$ кНм, де згинальні моменти, які викликають перегин корпусу судна, вважаються додатними, а прогин - від'ємними. $M_{sw} = \pm 76 \cdot 8,49 \cdot 17,5 \cdot 128,2^2 \cdot (0,860 + 0,7) \cdot 10^{-3} = \pm 28979064$ кНм.

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

$$M_w = 190 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot C_b \cdot 10^{-3} \text{ кНм,}$$

$$M_w = 190 \cdot 8,49 \cdot 17,5 \cdot 128,2^2 \cdot 0,860 \cdot 10^{-3} = 3994307 \text{ кНм.}$$

Хвильовий згинальний момент, який викликає прогин корпусу судна, знаходиться за формулою

$$M_w = -110 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} \text{ кНм}$$

$$M_w = -110 \cdot 8,49 \cdot 17,5 \cdot 128,2^2 \cdot (0,860 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -4194756 \text{ кНм}$$

де C_w - хвильовий коефіцієнт; C_b - коефіцієнт загальної повноти судна ($C_b > 0,6$).

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

$$W = \frac{M_T}{\sigma} \cdot 10^3, \text{ м}^3,$$

де $M_T = |M_{sw} + M_w|$ - розрахунковий згинальний момент, кНм, у розглядуваному перерізі судна, який дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових моментів M_{sw} і M_w ; $\sigma = 175/\eta$ - допустимі напруження, МПа; $\eta = 0,78$ - коефіцієнт використання механічних властивостей.

Сумарний згинальний момент:

- при перегині

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						.47
	.	.	.	c		

$$M_{\Sigma 1} = |M_{sw} + M_w| = 28979064 + 3994307 = 6892214 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

- при прогині

$$M_{\Sigma 2} = |M_{sw} + M_w| = |-28949064 - 4194756| = -70926625, \text{ кН}\cdot\text{м},$$

$$W = \frac{-70926625}{224,36} \cdot 10^3 = 316128659 \text{ см}^3 = 3,16 \text{ м}^3$$

$$\sigma - \text{допустимі напруження, МПа; } \sigma = \frac{175}{\eta} = \frac{175}{0,78} = 224,36 \text{ МПа}$$

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

$$W_{\min} = C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta,$$

$$W_{\min} = 8,49 \cdot 17,5 \cdot 128,2^2 \cdot (0,860 + 0,7) \cdot 0,78 = 297446347 \text{ см}^3 = 2,97 \text{ м}^3$$

Приймаємо розрахунковий момент опору $W = 297446347 \text{ см}^3$

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

$$I_{номр} = 3 \cdot C_w \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7),$$

$$I_{номр} = 3 \cdot 8,49 \cdot 17,5 \cdot 128,2^3 \cdot (0,860 + 0,7) = 14,66 \cdot 10^8 \text{ м}^4$$

$e = (0,34 + 0,06L \times 10^{-2}) \times D \text{ м}$ - відстань нейтральної осі від основної площини.

$$e = (0,34 + 0,06 \times 128,2 \times 10^{-2}) \times 7,2 = 3 \text{ м}$$

$I^* = W \times (D - e) \times 10^2 \text{ см}^4$ – розрахунковий момент інерції

$$I^* = 316128659 \times (7,2 - 3) \times 10^2 = 13,271 \times 10^8 \text{ см}^4$$

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

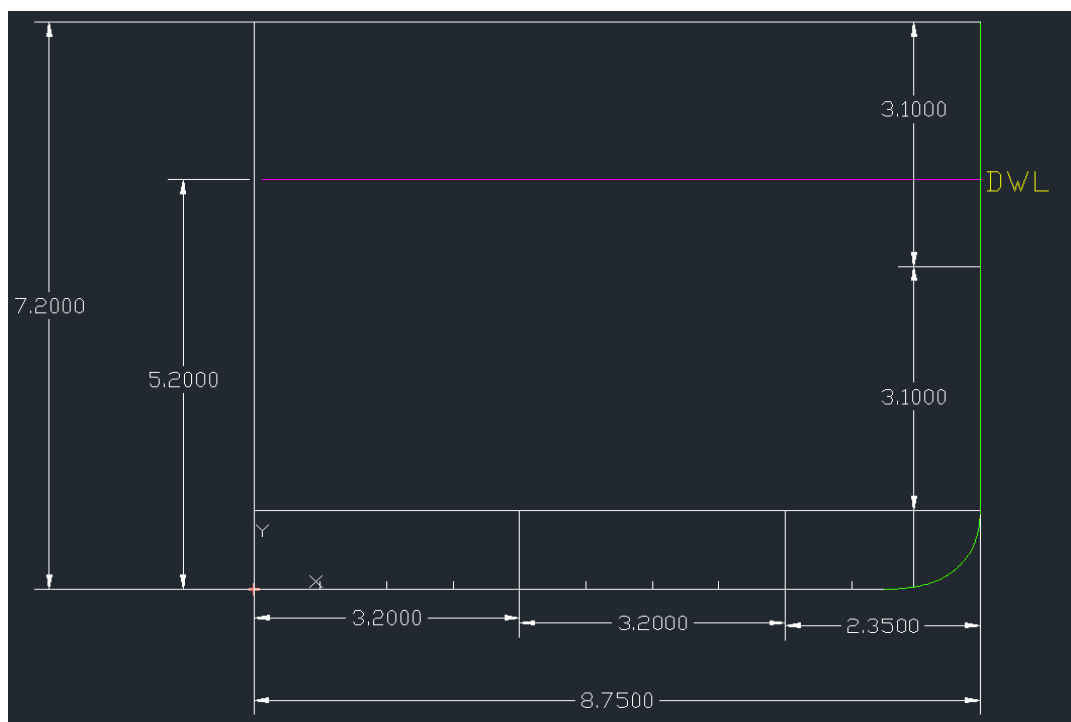
					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
				с		4.8

3.4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ

3.4.1. Проектування зовнішньої обшивки корпусу.

Зовнішня обшивка складається з обшивки борту і дна. Її проектування починається з розподілу на пояси обводу поперечного перерізу корпусу судна (рис. 4).

Ширина горизонтального кіля не більше 2000 мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки дна. Ширина скулового пояса визначається положенням верхньої і нижньої кромки. Нижня кромка відповідає точці поєднання плоскої частини обшивки дна з криволінійною. Верхню кромку в розрахунках беру вище внутрішнього дна на 200 мм. Товщину скулового пояса беру рівною товщині обшивки дна або товщині надскулового пояса, в залежності від того, що більше. Ширину ширстрека беру рівною ширині горизонтального кіля, а його товщину рівною товщині палубного стрингера або підширстрекового пояса борту, в залежності від того, що більше. Ширину інших поясів беруть якомога більшою, щоб зменшити обсяг зварювальних робіт, але вона має відповідати технічним можливостям суднобудівного заводу.



Товщина зовнішньої обшивки відповідно до умов 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, k_{σ} - коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил; a -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, b - менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м; σ_n - нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; ΔS - запас на знос і корозію, мм.

k_{σ} – коефіцієнт, наведений в таблиці:

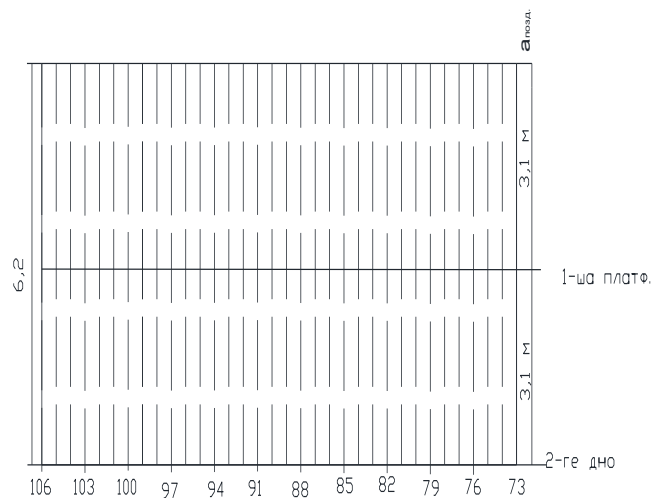
Обшивка дна	Поздовжня система набору	$k_{\sigma} = 0.6$
Обшивка борту	(0,4...0,5)D від основної площини	$k_{\sigma} = 0.6$
	На рівні верхньої палуби	$k_{\sigma} = 0.3 \cdot k_D \leq 0.6$

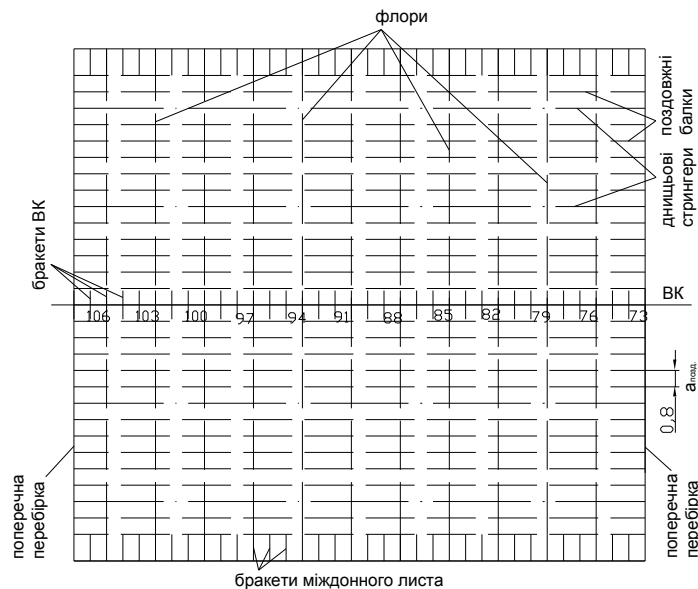
Коефіцієнт k_D приймаємо рівним одиниці.

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки з умов міцності наведено в табл. 3.4. Розрахункові навантаження визначаються для розрахункових точок 1,2,3,4,5,6 (див. рис. 3).

Таблиця 3.4. Розрахунок товщини листів З.О. з умов міцності

Розрахункові величини та означення	Обшивка дна	Надскуловий пояс обшивки борту	Обшивка борту в межах 0,4D	Обшивка борту в межах 0,5D	Обшивка борту на рівні вантажної палуби	Обшивка борту на рівні розрахункової палуби
	Розрахункові точки					
	1	2	3	4	5	6
Менший розмір пластини a , м	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Більший розмір пластини b , м	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Відношення a/b	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5 \times a/b$	1	1	1	1	1	1
Розрахунковий тиск P , кПа	67,34	59,75	45,47	40	27,09	22,31
Коефіцієнт k_σ	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3
$S' = 15,8 \times a \times k \times \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \times \sigma_n}}$	8,29	7,81	6,81	6,39	5,26	6,75
Додаток товщини ΔS , мм	2,4	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	10,69	9,85	8,85	8,43	7,30	8,79





Розрахуємо стискаючи напруження:

- для верхньої палуби

$$\sigma_{сВП} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5, МПа$$

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що визиває прогин корпусу судна:

$$|M_{sw} + M_w| = M_p = 7,09 \cdot 10^5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$I^* = 13,27 \cdot 10^8 \text{ см}^4;$$

z_i - відстань точки, що розглядається від нейтральної осі;

$$z_i = 7,2 - 3 = 4,2 \text{ м};$$

$$\sigma_{сВП} = \frac{7,09 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot 4,2 \cdot 10^5 = 224,4 \text{ МПа};$$

- для ширстречного поясу приймаємо величину $\sigma_c = 224,4 \text{ МПа};$

- для підширстречного поясу $z_i = 1,55 \text{ м};$

$$\sigma_c = \frac{7,09 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot 1,55 \cdot 10^5 = 82,8 \text{ МПа};$$

- для другого дна $z_i = -2 \text{ м};$

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що визиває перегин корпусу судна:

$$|M_{sw} + M_w| = M_p = 6,89 \cdot 10^5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{с2дно} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,89 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot (-2 \cdot 10^5) = -103,8 \text{ МПа};$$

- для днища $z_i = -3,0 \text{ м};$

$$\sigma_{сдн} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,89 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot (-3,0 \cdot 10^5) = -155,8 \text{ МПа};$$

Розрахуємо товщини листових конструкцій зовнішньої обшивки за умовами стійкості. Товщини визначаються за формулою:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}}, \text{ де}$$

b – сторона, м, пластини, що сприймає нормальні стискуючі напруження;

n – коефіцієнт, що враховує співвідношення сторін пластини і розподіл нормальних стискуючих напружень вздовж кромки пластини; σ_e – ейлерове напруження, яке визначається в залежності від відношення критичних напружень до границі плинності матеріалу ($R_{eH} = 315 \text{ МПа}$):

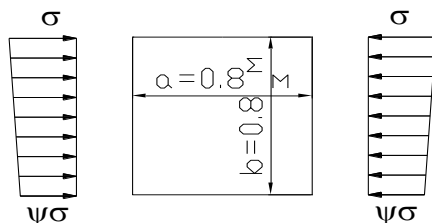
Ейлерове напруження:

$$\text{при } \sigma_{cr} / R_{eH} \leq 0.5 \quad \sigma_e = \sigma_{cr}$$

$$\text{при } \sigma_{cr} / R_{eH} > 0.5 \quad \sigma_e = \frac{0.25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}$$

Виберемо коефіцієнти n і ψ для:

- ширстреку

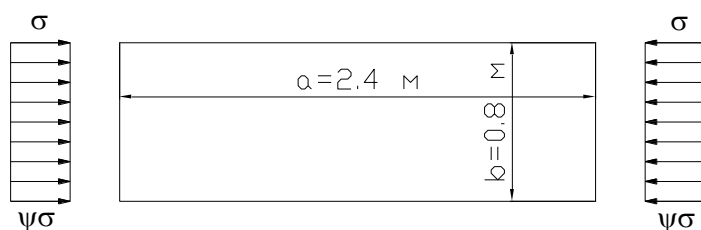


$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}}; \quad \sigma_{c1} = 218,071 \text{ МПа}; \quad z_i = 3,5 \text{ м};$$

$$\sigma_c = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{7.09 \cdot 10^5}{13.27 \cdot 10^8} \cdot 3.5 \cdot 10^5 = 187 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{187}{224,0} = 0.83; \quad n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0.82 + 1,1} = 4,34;$$

- обшивки дна



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

Таблиця 3.5. Розрахунок товщини листів З.О. з умов стійкості

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна	Надскуловий пояс	Ширстрек	Підширстречний пояс
$M_{sw}, \text{кНм}$	$2.89 \cdot 10^5$	$2.89 \cdot 10^5$	$-2.89 \cdot 10^5$	$-2.89 \cdot 10^5$
$M_w, \text{кНм}$	$3.99 \cdot 10^5$	$3.99 \cdot 10^5$	$-4.19 \cdot 10^5$	$-4.19 \cdot 10^5$
Розрахунковий момент $M_T, \text{кНм}$	$6.89 \cdot 10^5$	$6.89 \cdot 10^5$	$-7.09 \cdot 10^5$	$-7.09 \cdot 10^5$
$Z_i, \text{м}$	3	2	4.2	1.55
$\sigma_c, \text{Мпа}$	155.8	103.8	224,4	82.8
$\sigma_{cr} = k \sigma_c, \text{Мпа}$	155.8	103.8	224,4	82.8
σ_{cr}/R_{eH}	0,49	0,32	0,71	0,33
$\sigma_e, \text{Мпа}$	155.8	103.8	273,8	106.8
$a, \text{м}$	0,8	0.8	0.8	0.8
$b, \text{м}$	3.1	3.1	3.1	3.1
$\gamma = a/b$	0.25	0.25	0.25	0.25
ψ	1	0.705	0.83	0,765
n	4	4.65	4.34	4,5
$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}}, \text{мм}$	11,59	8,8	13,37	9,38
$\Delta S, \text{мм}$	2	2	0,68	0,6
$S = S' + \Delta S, \text{мм}$	13,59	10,8	14,05	9,66

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 128,2) \cdot \sqrt{0,78} = 9,38 \text{ мм.}$$

3.4.2. Проектування настилу верхньої палуби.

Верхня палуба судна має одинарні люки понтонового типу, ширина яких $b_{\text{л}}=14$ м. Товщина настилу цієї розрахункової палуби між бортом і поздовжнім комінгсом люка з урахуванням поздовжніх палубних балок основного та рамного набору повинна забезпечити момент опору W_d поперечного перерізу корпусу судна.

Товщина настилу верхньої палуби відповідно до умов міцності визначається за формулою:

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \text{ мм}$$

де $P = 0,7 \cdot P_w \geq P_{\min}$, $P_{\min} = 0,015 \cdot L + 7$ в середній частині корпусу судна;

$P_w = 22,31$ – хвильовий тиск, кПа; $k_{\sigma} = 0,6$ – для подовжньої системи набору; ΔS – додаток на знос і корозію.

$$P = 0,7 \cdot 22,31 = 15,61 \text{ кПа,} \quad P_{\min} = 0,015 \cdot 128,2 + 7 = 8,92 \text{ кПа,}$$

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{15,617}{0,6 \cdot 301,3}} + 1,4 = 5,11 \text{ мм;}$$

Розрахунок товщини настилу ВП з умови стійкості:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{273,8}{0,1854 \cdot 4}} = 15,4 \text{ мм;}$$

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{\text{сВП}} = 224,4 \text{ МПа;}$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 224,4 = 224,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}} \text{ при } \frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{224,4}{315} = 0,712 > 0,5$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						.55
				с		

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot 315^2}{315 - 224,4} = 273,8 \text{ МПа};$$

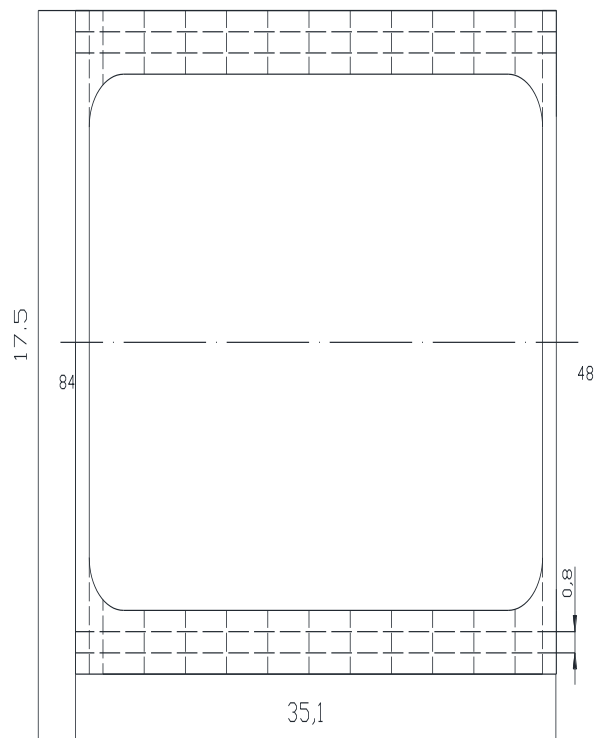
Додаткова товщина:

$$\Delta S = 0,1 \cdot S' = 0,1 \cdot 15,4 = 1,54 \text{ мм};$$

$$S = S' + \Delta S = 15,4 + 1,54 = 16,94 \text{ мм};$$

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менша від $S_{\min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 128,2) \cdot \sqrt{0,78} = 8,44 \text{ мм};$

Приймаю $S_{\text{вп}} = 17 \text{ мм}$



3.4.3. Проектування настилу внутрішнього дна.

Товщина настилу внутрішнього дна і міждонного листа відповідно до умов міцності визначається за формулою:

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S \text{ мм},$$

де $P = 73.4$ кПа – найбільший розрахунковий тиск, кПа.

$P_{\text{г}} = 22.8$ кПа – розрахунковий тиск від штучного вантажу;

$P_{\text{а.з.}} = 10,5 \cdot (d - h) = 10,5 \cdot (5.2 - 1,0) = 44.1$ кПа – тиск аварійного затоплювання,

де $d = 5.2$ – осадка судна, м; $h = 1,0$ – висота подвійного дна, м.

Розрахунковий тиск на конструкцію внутрішнього дна, якщо міждонний простір заповнений баластом, визначається за формулами:

$$P = 0,75 \cdot g \cdot (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 9,81 \cdot (13.74 + 1,5) = 112.13 \text{ кПа},$$

$$P = \rho_b \cdot g \cdot z_i + p_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 13.74 + 15 = 153.24 \text{ кПа},$$

де $z_i = 6.2$ м – відстань виміряна в діаметральній площині від розглядуваної в'язі до верхньої палуби;

$\Delta z = 1,5$ м – висота повітряної трубки;

$\rho_b = 1,025$ т/м³ – питома вага рідини;

$p_k = 15$ кПа – тиск запобіжного клапана.

Розрахунок товщин поясів настилу внутрішнього дна наведено в табл. 3.6.

Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою:

$$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 138.4) \cdot \sqrt{0,78} = 8,69 \text{ мм}.$$

Таблиця 3.6. Розрахунок товщин поясів настилу внутрішнього дна

Розрахункові величини та позначення	Настил внутрішнього дна
Менший розмір пластини a , м	0,8
Більший розмір пластини b , м	3,1
Відношення $\gamma = a/b$	0,25
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5a/b$	1
Розрахунковий тиск P , кПа	77.34
Коефіцієнт k_{σ}	0,8
$S' = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}}$, мм	13.23

Додаток товщини ΔS , мм	1.54
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	14.77

Розрахунок товщини настилу внутрішнього дна за умовою стійкості виконується аналогічно розрахунку товщини зовнішньої обшивки дна.

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{103,8}{0,1854 \cdot 4}} = 9,4 \text{ мм};$$

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{c2\text{дно}} = 103,8 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 103,8 = 103,8 \text{ МПа}$$

$$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{103,8}{315} = 0,32 < 0,5 \quad \sigma_e = \sigma_{cr} = 103,8 \text{ МПа};$$

Додаткова товщина:

$$\Delta S = 0,1 \cdot S' = 0,1 \cdot 9,4 = 0,9 \text{ мм};$$

Приймаємо додаткову товщину на знос та корозію $\Delta S = 2 \text{ мм};$

$$S = S' + \Delta S = 9,4 + 2 = 11,4 \text{ мм};$$

Так як в трюмі в районі під люком немає дерев'яного настилу, то збільшуємо товщину настилу другого дна на 2 мм.

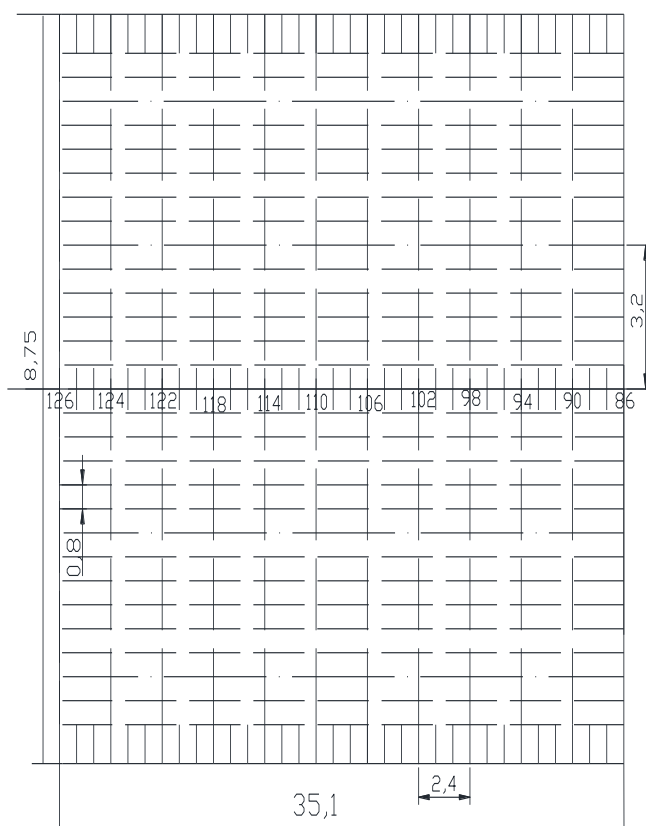
Назва листової конструкції	Товщина			Прийнято
Умовне означення її товщини	Міцність	Стійкість	Мінімальна товщина	
Обшивка днища $S_{\text{д}}$, мм	11,59	13,59	9,38	14
Горизонтальний кіль $S_{\text{к}}$, мм	-	-	9,38	16
Скуловий пояс $S_{\text{ск}}$, мм	-	-	9,38	14
Надскуловий пояс $S_{\text{нск}}$, мм	8,8	10,8	9,38	13
Обшивка борта на рівні ВВЛ $S_{\text{бввл}}$, мм	6,84	-	9,38	10
Підширстречний пояс $S_{\text{пш}}$, мм	9,01	9,66	9,38	11
Ширстрек $S_{\text{ш}}$, мм	13,37	14,05	9,38	16
Настил верхньої палуби $S_{\text{вп}}$, мм	5,11	15,4	8,44	16
Настил внутрішнього дна $S_{\text{вд}}$, мм	9,46	11,46	8,37	12
Міждонний лист $S_{\text{мл}}$, мм				14
Настил II дна під люком $S_{\text{вдл}}$, мм				14

3.4.4. Проектування конструкцій набору подвійного дна.

Набір подвійного дна розташований між настилом внутрішнього дна і зовнішньою обшивкою. Опорним контуром днищевого перекриття є два борти і дві суміжні поперечні перегородки.

Основний набір – це поздовжні балки днища і внутрішнього дна, які розташовані через шпацию. Суцільні флори розташовані через 3 шпациї. Під поперечними перегородками розміщуються водонепроникні флори (рис. 8).

У діаметральній площині знаходиться вертикальний кіль. Відстань між вертикальним кілем і днищевим стрингером дорівнює 3,2 м.



3.4.4.1. Проектування конструкцій флорів.

- Суцільний флор має таку висоту у діаметральній площині, як і вертикальний кіль $h=1,0$ м. Посередині висоти флора розміщують лази. Вертикальний розмір лазу не повинен перевищувати половину

висоти флора.

Товщина суцільного флора визначається за формулою:

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

Де $\alpha = 0,023 \cdot L + 5,8 = 0,023 \cdot 128,2 + 5,8 = 8,74$; $k = k_1 \cdot k_2 = 1,2 \cdot 0,8 = 1,08$;

k_1, k_2 – знаходимо в залежності від відношення a_{ϕ}/a та від числа стрингерів на один борт; де $a_{\phi} = 2,4$ м – відстань між суцільними флорами; $a = 0,8$ м – шпация; $a = 0,8$ м – відстань між ребрами жорсткості; $\eta = 0,78$ – коефіцієнт використання механічних властивостей; $\Delta S = 2,4$ – додаток на знос і корозію, мм;

$$S = 8,74 \cdot 1,08 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 = 9,07 \text{ мм}$$

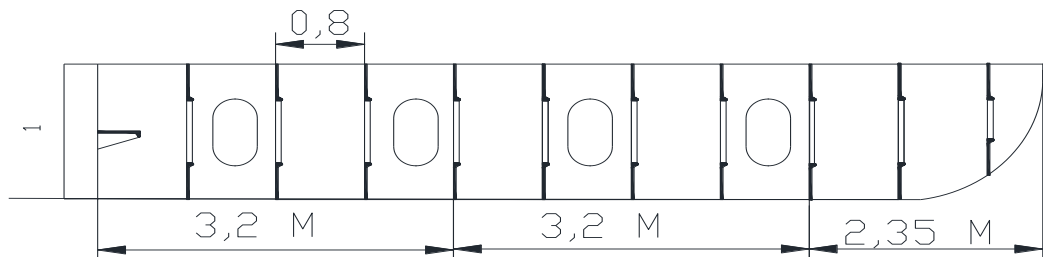
Мінімальна будівельна товщина суцільного флора:

$$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 128,2 + 6 = 10,48 \text{ мм.}$$

Приймаю $S_{\phi\phi} = 11$ мм.

Посередині висоти флора розміщують лази (рис. 9).

$$h_1 \leq \frac{h_{2\text{дна}}}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ м} \quad h_2 \leq \frac{a}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ м}$$



Лист суцільного флора підкріплюється вертикальними ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна і внутрішнього дна.

Товщина ребра жорсткості визначається так: $S_{рж} \geq 0,8 \cdot S_{\phi\phi} = 0,8 \cdot 11 = 8,8$ мм.

Приймаю $S_{рж} = 9$ мм. Ширина ребра жорсткості $b_{рж} = 10 \cdot S_{рж} = 90$ мм.

				24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03		a
						.60
я	.	.	.	с		

- Водонепроникний флор підкріплюється ребрами жорсткості на відстані 0,8 м. Товщина водонепроникного флора визначається за формулою:

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

де $m=12$; $k_{\sigma}=0,65$; $k=0,8$; $a=0,8\text{м}$; $\Delta S=2,4$.

$P = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 6,7 + 15 = 82,37 \text{кПа}$ - розрахунковий тиск;

$P_k = 15 \text{кПа}$ - тиск запобіжного клапана;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{1} = 0,8$$

$z_i = 6,7\text{м}$ - відстань від верхньої палуби до середини висоти флора;

$$S = 12 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{82,37}{0,65 \cdot 301,3}} + 2,4 = 7,38$$

Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флору. Приймаємо $S=8\text{мм}$.

Водонепроникний флор підкріплюється ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна і внутрішнього дна. Момент опору поперечного перерізу ребер жорсткості непроникного флора розраховуються за формулою :

$$W = W' \cdot \omega_k; \quad W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n},$$

де W' - момент опору балки без урахування запасу на знос і корозію, см^3 ;

$Q = P \cdot a \cdot l$ - поперечне навантаження на балку, кН; $P=82,37$ кПа - розрахунковий тиск на обшивку; $a = 0,9\text{м}$ - відстань між балками, які розглядаються; $l=1\text{м}$ - довжина ребра жорсткості; $m=10$; $k_{\sigma}=0,65$; ω_k - поправка на знос і корозію; ΔS - запас на знос і корозію, мм.

$$W' = \frac{65,89 \cdot 1 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 33,64 \text{см}^3 < 200 \text{см}^3; \quad W = 33,64 \cdot 1,59 = 53,69 \text{см}^3;$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
a				c		.61

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,248 \cdot 2,4 = 1,59;$$

$$\alpha_k = 0,07 + \frac{6}{W'} = 0,07 + \frac{6}{33,64} = 0,248 \text{ при } W' < 200 \text{ см}^3;$$

Товщина ребра жорсткості повина бути не менше, ніж:

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,4 + 5,5 = 8,7 \text{ мм};$$

По сортаменту приймаю полособульб несиметричний 16а (h=160мм, S_{ст}=9 мм, b_б=36 мм, F=18 см²).

3.4.4. 2.Проектування конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів.

Висота вертикального кіля повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$h = \frac{L - 40}{0,57} + 40 \cdot B + 3500 \frac{T}{L} \geq 650 \text{ мм}$$

$$h = \frac{128,2 - 40}{0,57} + 40 \cdot 17,5 + 3500 \frac{5,2}{128,2} = 996 \text{ мм}$$

Висота ВК h=0.99м.

Товщина стінки вертикального кіля згідно з Правилами визначається за формулою

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

де $\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 \leq 11,2$ $\alpha_k = 0,03 \cdot 128,2 + 8,3 = 12,22 > 11,2$; Приймаємо $\alpha_k = 11,2$.

$h_\phi = 1\text{м}$ – фактична висота ВК; $\eta = 0,78$ – коефіцієнт використання механічних властивостей; $\Delta S = 2,4\text{м}$ – додаток на знос і корозію.

$$S = 11,2 \cdot 0,99 \cdot \frac{0,99}{1} \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 = 12,22 \text{ мм}.$$

Товщина вертикального кіля знаходиться також за формулою

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S \text{ мм},$$

де $k_\sigma = 0,65$ – якщо ВК підкріплюється вертикальними бракетами;

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						62.
				с		

$a=0,8\text{м}$ – шпация;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{h_{\phi}} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{1} = 0,8;$$

Розрахунковий тиск на вертикальний кінь:

$$\begin{cases} P' = 0,75 \cdot g \cdot (z_i + \Delta z), \text{кПа} \\ P'' = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot z_i + P_k, \text{кПа} \end{cases}$$

$$\Delta z = 1,5\text{м}; \quad z_i = D - \frac{h_{\text{БК}}}{2} = 7,2 - \frac{1}{2} = 6,7\text{м}; \quad P_k = 15\text{кПа};$$

$$\begin{cases} P' = 0,75 \cdot 9,81 \cdot (6,7 + 1,5) = 60,33\text{кПа}; \\ P'' = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 6,7 + 15 = 82,37\text{кПа}; \end{cases}$$

Приймаємо $P=82,3$ кПа – розрахунковий тиск;

ΔS – додаток на знос і корозію, мм;

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{82,3}{0,65 \cdot 301,3}} + 2,4 = 6,55\text{мм}.$$

Зменшити товщину стінки вертикального кіля можна, якщо розмістити посередині висоти горизонтальне ребро жорсткості, яке також треба перевірити на згин і стійкість. Товщина вертикального кіля повинна бути на 1 мм більша від товщини суцільного флора і не менша, ніж

$$S_{\text{min}} = 0,035 \cdot L + 5 = 0,035 \cdot 128,2 + 5 = 9,48\text{мм},$$

$$S_{\text{min}} = 0,025 \cdot L + 7 = 0,025 \cdot 128,2 + 7 = 10,2\text{мм};$$

Стійкість стінки вертикального кіля перевіримо.

$$\sigma_{\text{с1}} = \frac{M_T}{I} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,89 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot 3 \cdot 10^5 = 155,753 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{с2}} = \frac{M_T}{J} \cdot (z_i - \frac{h}{2}) \cdot 10^5 = \frac{6,89 \cdot 10^5}{13,27 \cdot 10^8} \cdot (3 - \frac{1}{2}) \cdot 10^5 = 129,794 \text{ МПа};$$

БК є стійким коли:

$$k \cdot \sigma_{\text{с}} \leq \sigma_{\text{ср}}; \quad \sigma_{\text{ср}} = k \cdot \sigma_{\text{с}} = 1 \cdot 155,75 = 155,75 \text{ МПа}$$

$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{0,8}{0,5} = 1,6; \quad b = \frac{h_{\text{БК}}}{2} = \frac{1}{2} = 0,5\text{м}; \quad \Psi = \frac{\sigma_{\text{с2}}}{\sigma_{\text{с1}}} = \frac{129,8}{155,75} = 0,83$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						.63
				с		

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,83 + 1,1} = 4,3; \quad S = S' + \Delta S;$$

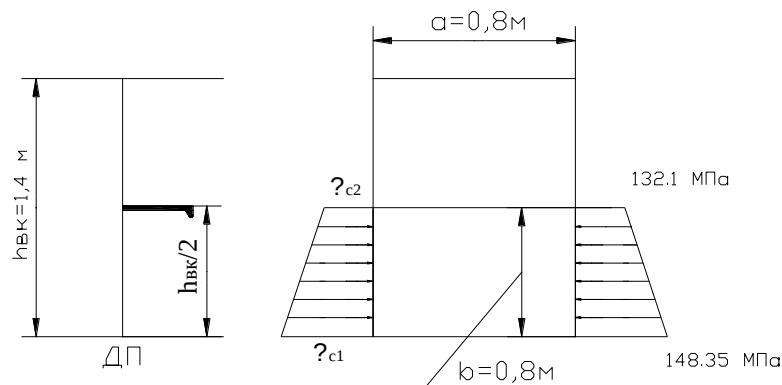
$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{155,75}{0,1854 \cdot 4,3}} + 2,4 = 9,35 \text{ мм.}$$

Приймаю $S_{BK}=15 \text{ мм.}$

Товщина днищевго стрингера повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора і не менше, ніж:

$$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 128,2 + 6 = 10,48 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_{д.с.}=12 \text{ мм.}$



Посередині висоти вертикального кіля розміщуємо ребро жорсткості, яке необхідно розрахувати і перевірити на згин і стійкість.

Момент опору поперечного перерізу балки набору катаного профілю

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

де $P=155,75 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск;

$$a = \frac{h_{BK}}{2} = 0,5 \text{ м} \text{ – відстань між РЖ та днищем;}$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						.64
я	.	.	.	с		

$l = 0,8\text{ м}$ – прогін балки; $m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,75$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3\text{ МПа}$ – нормальні напруження.

$$W' = \frac{155,75 \cdot 0,5 \cdot 0,8^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,75 \cdot 301,3} = 18,38\text{ см}^3,$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/18,38 = 0,396 \quad \omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,396 \cdot 2,4 = 1,95$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 18,38 \cdot 1,95 = 35,86\text{ см}^3$$

Мінімальна будівельна товщина ребра жорсткості:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,2 + 5,5 = 8,7\text{ мм};$$

В якості ребер жорсткості вертикального кіля приймаю профіль полоособульб несиметричний $\Gamma 16a$ ($h=160\text{ мм}$, $S_{ct}=9\text{ мм}$, $b_6=36\text{ мм}$, $F=18\text{ см}^2$).

Перевіримо ребро жорсткості обраного профілю на стійкість.

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr} \text{ - умова стійкості,}$$

де $k = 1,1$ – коефіцієнт запасу за стійкістю;

$\sigma_c = 155,75\text{ МПа}$ – нормальні стискальні напруження;

$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1,1 \cdot 155,75 + 1 = 172,32\text{ МПа}$ – критичне напруження;

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}} \text{ при } \frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{155,75}{315} = 0,5 > 0,5 \quad \sigma_e = \frac{0,25 \cdot 315^2}{315 - 155,75} = 155,77\text{ МПа};$$

$$\sigma_e^* = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 13,27}{18 \cdot 2,4^2} = 263,68\text{ МПа}.$$

Оскільки $\sigma_e^* > \sigma_e$, то балка профілю $\Gamma 16a$ є стійкою.

Ребра жорсткості стрингерів приймаю такого ж профілю.

3.4.4.3.Проектування балок основного набору подвійного дна.

Поздовжні балки зовнішнього обшивки дна і настилу внутрішнього дна повинні мати момент опору, який визначається в Правилах згідно з

формулою

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

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
				с		.65

де $P = P_{st} + P_w = 67.34 \text{ кПа}$ - розрахунковий тиск для балок днища;

$P = P_{вип} = 77.34 \text{ кПа}$ - розрахунковий тиск для балок подійного дна;

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация;

$l = 2,4 \text{ м}$ – прогін балки між суцільними флорами;

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,45$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок дна;

$k_\sigma = 0,6$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок внутрішнього дна;

$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа}$ – нормальні напруження;

ω_k – поправка на знос і корозію.

- Для балок дна:

$$W' = \frac{67.34 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 301,3} = 190,7 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{190,7} \right) = 0,1$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,1 \cdot 2,4 = 1,24 \quad W = W' \cdot \omega_k = 190,7 \cdot 1,24 = 237,23 \text{ см}^3.$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,2 + 5,5 = 8,7 \text{ мм};$$

Згідно до сортаменту (ГОСТ 21937-76) обираємо профіль штабобульб несиметричний І 24а ($h=240 \text{ мм}$, $S=12 \text{ мм}$, $b=52 \text{ мм}$, $f=38,8 \text{ см}^2$, $W=434 \text{ см}^3$).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

$$\text{Фактичні ейлерові напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2};$$

де $l = 3 \cdot a_{\text{нопер}} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$ - прогін балки;

$h_{cm} = h - 0,125 \cdot h = 240 - 0,125 \cdot 240 = 210 \text{ мм} = 21 \text{ см}$ - розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_{cm} = S_{cm} \cdot h_{cm} = 1,2 \cdot 21 = 25,2 \text{ см}^2$ - площа поперечн. перерізу стінки штабобульба;

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
				с		66

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{219,04} \right) = 0,097$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,097 \cdot 2,4 = 1,23 \quad W = W' \cdot \omega_k = 219,04 \cdot 1,23 = 270,08 \text{ см}^3$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути: $S = 8,83 \text{ мм}$;

За сортаментом (ГОСТ 21937 – 76) отримано І 24а (h=240мм, S=12мм, b=52мм, f=38.8см², W=434см³).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

$$\text{Фактичні ейлерові напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2};$$

$$\text{де } l = 3 \cdot a_{\text{нопер}} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м} - \text{прогін балки};$$

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

$$\text{Фактичні ейлерові напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2};$$

$$\text{де } l = 3 \cdot a_{\text{нопер}} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м} - \text{прогін балки};$$

$$\text{Площа поперечного перерізу штабобульба: } f^* = 132,71 \text{ см}^2;$$

$$\text{Момент інерції поперечного перерізу балки: } i^* = 6561,7 \text{ см}^4;$$

$$\text{Фактичне ейлерове напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 6561,7}{132,71 \cdot 2,4^2} = 1768,31 \text{ МПа};$$

$$\text{Потрібні ейлерові напруження: } k \cdot \sigma_c < \sigma_{cr}; \quad k = 1,15; \quad \sigma_{c2\text{дна}} = 103,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1768,31} \right) = 300,97 \text{ МПа} - \text{критичне напруження};$$

$$1,15 \cdot 103,8 = 119,37 \text{ МПа} < 300,97 \text{ МПа};$$

Так як $k \cdot \sigma_c < \sigma_{cr}$, то балка профілю І24а є стійкою (обраний профіль підходить)

Стінка вертикального кіля підкріплюється з обох боків кіля бракетами, які приварюються до неї. Відстань між бракетами дорівнює одній шпациї а=0,8 м.

Товщина бракет дорівнює товщині суцільного флора. S_{бракет}=11 мм

3.4.5.Проектування конструкцій набору подвійного борту.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						68
				с		

3.4.5.1. Визначення товщини внутрішнього борту.

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

де $m=15,8$; $k_{\sigma}=0,6$; $k=1$; $a=0,8\text{м}$; $\sigma_{\text{п}}=301,3\text{ МПа}$; $\Delta S=2,04$;

$P = P_{\text{вин}} = \rho \cdot g \cdot (D - h_{\text{ск}} + 1,5) = 77,42\text{ кПа}$ – розрахунковий тиск;

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{77,42}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,04 = 10,312_{\text{мм}}$$

$$S_{\text{min}} = 0,03 \cdot L + 4,5 = 0,03 \cdot 138,4 + 4,5 = 8,34_{\text{мм}}$$

Приймаємо $S=11\text{ мм}$.

3.4.5.2. Визначення товщини листів зовнішньої обшивки борту.

Товщину листів, що знаходяться між скуловим і підширстречним поясами приймаємо рівною $S=11\text{ мм}$.

3.4.5.3. Визначення товщини платформ і діафрагм.

Товщину платформ приймаємо рівною $S=11\text{ мм}$.

Товщину діафрагм приймаємо рівною $S=9\text{ мм}$.

$$S_{\text{min}} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 8,7_{\text{мм}}.$$

3.4.5.4. Визначення профілю шпангоута зовнішнього борту.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

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

де $P = P_{\text{ст}} + P_{\text{в}}$ - розрахунковий тиск;

$$P_{\text{ст}} = 10 \cdot Z_i = 10 \cdot 1,6 = 16\text{ кПа};$$

$z_i = 1,6\text{ м}$ - відстань середини прогону шпангоута від вантажної ватерлінії;

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 27,09 - 1,5 \cdot \frac{8,49 \cdot 1,6}{5,2} = 23,17 \text{ кПа};$$

$$P = 16 + 23,17 = 39,17 \text{ кПа};$$

$$P_{\min} = 10 \cdot z_i + 0,15 \cdot L + 10 = 10 \cdot 1,6 + 0,15 \cdot 128,2 + 10 = 45,23 \text{ кПа};$$

Приймаю $P = 45,23 \text{ кПа};$

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация;

$l = 3,1 \text{ м}$ – прогін балки між платформами;

$m = 18$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,65$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа}$ – нормальні напруження;

ω_k – поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{45,23 \cdot 0,8 \cdot 3,1^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 148,2 \text{ см}^3 < 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/148,2 = 0,11$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,11 \cdot 1,6 = 1,2$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 148,21 \cdot 1,2 = 174,4 \text{ см}^3$$

За сортаментом (ГОСТ 9235–76) обираємо штабобульб симетричний Т22610 ($h=200 \text{ мм}; S=10 \text{ мм}; b=62 \text{ мм}; f=29,26 \text{ см}^2; W=305 \text{ см}^3$).

3.4.5.5. Визначення профілю шпангоута внутрішнього борту.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

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

$$\text{де } P = P_{\text{вн}} = \rho \cdot g \cdot \left(D - h_{\text{вк}} - \frac{l_{\text{вл}}}{2} \right) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(5,2 - 1 - \frac{3,8}{2} \right) = 23,1 \text{ кПа} -$$

розрахунковий тиск;

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация;

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						70.
				с		

$l = 3,1 \text{ м}$ – прогін балки між платформами;

$m = 18$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_{\sigma} = 0,65$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа}$ – нормальні напруження;

ω_k – поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{23,1 \cdot 0,8 \cdot 3,1^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 75,2 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{75,2} \right) = 0,155$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,155 \cdot 1,2 = 1,18$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 75,2 \cdot 1,18 = 89,2 \text{ см}^3$$

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,2 + 5,5 = 8,7 \text{ мм};$$

За сортаментом (ГОСТ 9235–76) обираємо штабобульб симетричний Т24710 ($h=240 \text{ мм}$; $S=10,5 \text{ мм}$; $b=75,5 \text{ мм}$; $f=38,65 \text{ см}^2$; $W=464 \text{ см}^3$).

3.4.5.6. Визначення профілю бiмсiв платформ.

Бiмси платформ приймаємо такого ж профілю як i шпангоути внутрішнього борту.

- 1 платформа – бiмс профілю Т24710;

3.4.5.7. Визначення катету бiмсової косинки.

$$c = 5 \cdot \sqrt{\frac{W}{S}} = 5 \cdot \sqrt{\frac{464}{10,5}} = 33,24 \text{ мм},$$

де $W = 464 \text{ см}^3$ – момент опору поперечного перерізу шпангоута внутрішнього борту;

$S = 10,5 \text{ мм}$ – товщина стінки шпангоута.

Висота кнiцi повинна бути не менша, нiж:

						a
				c		71.

$$h_{нотр} = 0,7 \cdot c = 0,7 \cdot 33,24 = 23,27 \text{ см};$$

Так як товщина стінки перевищує 7 мм, то товщина кнці зменшуємо на 1 мм:

$$S_{кн} = 10,5 - 1 = 9,5 \text{ мм};$$

Товщина косинки $S=9,5$ мм, $h=25$ см.

3.4.5.8. Визначення профілю поздовжніх балок анти крутильної коробки.

- Поздовжні балки зовнішнього борту:

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

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

$$P = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 27,09 - 7,5 \cdot 0,335 \cdot 4 = 16,5 \text{ кПа} - \text{розрахунковий тиск};$$

$$a = 0,8 \text{ м} - \text{шпація};$$

$$l = 2,4 \text{ м} - \text{прогін балки між діафрагмами};$$

$$m = 12 - \text{коефіцієнт згинального моменту};$$

$$k_{\sigma} = 0,6 - \text{коефіцієнт допустимих напружень};$$

$$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа} - \text{нормальні напруження};$$

$$\omega_k - \text{поправка на знос і корозію.}$$

$$W' = \frac{16,5 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301,3} = 35,13 \text{ см}^3 < 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/35,13 = 0,24; \quad \omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,24 \cdot 2 = 1,48$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 35,13 \cdot 1,48 = 52,04 \text{ см}^3$$

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,2 + 5,5 = 8,7 \text{ мм};$$

За сортаментом (ГОСТ 21937-76) приймаємо І 16а ($h=160$ мм, $S=9$ мм, $b=36$ мм, $f=18 \text{ см}^2$, $W=147 \text{ см}^3$).

Продольні балки внутрішнього борту приймаємо такі ж як і продольні балки зовнішнього борту.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
				c		.72

Перевіримо на стійкість поздовжні балки анти крутильної коробки.

$$\text{Фактичні ейлерові напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2};$$

$$\text{де } l = 3 \cdot a_{\text{попер}} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м} - \text{прогін балки};$$

$$h_{cm} = h - 0,125 \cdot h = 160 - 0,125 \cdot 160 = 140 \text{ мм} = 14 \text{ см} - \text{розрахункова висота стінки штабобульба};$$

$$f_{cm} = S_{cm} \cdot h_{cm} = 0,9 \cdot 14 = 12,6 \text{ см}^2 - \text{площа поперечн. перерізу стінки штабобульба};$$

$$S_n = \frac{f - h \cdot S_{\text{нò}}}{b - S_{\text{нò}}} = \frac{18 - 16 \cdot 0,9}{3,6 - 1} = 1,38 \text{ òì} - \text{товщина бульба штабобульба};$$

$$\Delta S = 0,24 \text{ мм};$$

$$S'_n = S_n - \Delta S = 1,38 - 0,24 = 1,14 \text{ òì};$$

$$S'_{\text{нò}} = S_{\text{нò}} - \Delta S = 0,9 - 0,24 = 0,66 \text{ òì};$$

$$S'_{nn} = S_{nn} - \Delta S = 1,5 - 0,24 = 1,26 \text{ см};$$

$$b_{nn} = a_{\text{прод}} = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см} - \text{ширина приєднаного пояска};$$

$$F = S'_{cm} \cdot h_{cm} = 0,66 \cdot 14 = 9,24 \text{ см}^2 - \text{площа стінки штабобульба};$$

$$F' = S'_i \cdot b = 1,14 \cdot 3,6 = 4,104 \text{ òì}^2 - \text{площа бульба штабобульба};$$

$$F'' = S'_{nn} \cdot b_{nn} = 1,26 \cdot 80 = 100,8 \text{ см}^2 - \text{площа приєднаного пояска};$$

Площа поперечного перерізу штабобульбаб

$$f^* = F + F' + F'' = 9,24 + 4,1 + 100,8 = 114,14 \text{ òì}^2;$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$i^* = \frac{h^2 \cdot \text{нò}}{1 + \frac{2F' + F}{2F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F' + F}{2F'' + F} \right) \right] = \frac{14^2}{1 + \frac{2 \cdot 4,1 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24}} \cdot \left[4,1 + \frac{9,24}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 4,1 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24} \right) \right] = 1682,2 \text{ òì}^4;$$

Фактичне ейлерове напруження:

$$\sigma_{\hat{a}} = \frac{206 \cdot 3^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1682,2}{114,14 \cdot 2,4^2} = 527,1 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr} - \text{умова стійкості},$$

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						73
				с		

Потрібні ейлерові напруження: $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$; $\sigma_{cш} = 155.8 \text{ МПа}$;

$k = 1.1$ - коефіцієнт запасу за стійкістю;

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 527.1}\right) = 267.94 \text{ МПа} - \text{критичне напруження};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1.1 \cdot 155.8 = 171.4 \text{ МПа} < \sigma_{cr} = 267.94 \text{ МПа};$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю І 16а є стійкою (обраний профіль підходить)

3.4.5.9. Визначення розмірів ребра жорсткості вирізів у діафрагмі.

Виріз у діафрагмі в районі анти крутильної коробки необхідно підкріпити пояском.

$$S_n = S_d + (2 \div 5) = 10 + 2 = 12 \text{ мм};$$

$$b = 10 \cdot S_n = 10 \cdot 12 = 120 \text{ мм}.$$

Вирізи у діафрагмі нижче анти крутильної коробки також підкріплюють.

3.4.5.10. Визначення розмірів комінгсу.

Комінгс назначаємо конструктивно, так як внутрішній борт є стійкою опорою для комінгсу.

Стінка комінгсу – 11*1200;

Поясок комінгсу – 15*200;

3.5. РОЗРАХУНОК ЕКВІВАЛЕНТНОГО БРУСУ ТА ПЕРЕВІРКА ЗАГАЛЬНОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ МІЦНОСТІ

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						74
				c		

Таблиця 3.7. Розрахунок еквівалентного бруса.

№ п/п	Найменування в'язей	Розміри в'язей, мм	Площа перерізу в'язі, F, см ²	Відстань ц. в. площі перерізу в'язі від порівняль ної осі, z, м	$F \cdot z$, см ² · м	$F \cdot z^2$, см ² · м ²	Власний момент інерції площі перерізу в'язі, і, см ² · м ²
1.	Стінка комінгсу	11*1200	132	15,74	2077,68	32702,683	
2.	Полка комінгсу	15*200	30	16,34	490,2	8009,868	0
3.	РЖ комінгсу	16а	18	16,1	289,8	4665,78	0
4.	Лист настилу ВП	17*2800	476	15,14	7206,64	109108,53	0
5.	Ширстрек	17*2000	340	14,14	4807,6	67979,464	100
6.	Лист обшивки зовнішнього борту	14*2600	364	11,84	4309,76	51027,558 4	205,5
7.	Лист обшивки зовнішнього борту	14*2800	392	9,14	3582,88	32747,523 2	256,11
8.	Лист обшивки зовнішнього борту	14*3000	420	6,24	2620,8	16353,792	315
9.	Лист обшивки зовнішнього борту	14*2800	392	3,34	1309,28	4372,9952	256,11
10.	Скуловий лист	14*3200	448	0,98	439,04	430,2592	382,3
11.	Лист обшивки днища	14*9000	1260	0	0	0	0
12.	Горизонтальний кіль	16*1000	160	0	0	0	0
13.	Вертикальний кіль	8,5*1400	119	0,7	83,3	58,31	19,44
14.	Стрингер	11*1330	146,3	0,7	102,41	71,687	21,56
15.	Стрингер	11*1250	137,5	0,7	96,25	67,375	17,9
16.	РЖ вертика. кіля	16а	18	0,7	12,6	8,82	0
17.	РЖ стрингерів	2*16а	36	0,92	33,12	30,4704	0
17.1	РЖ стрингерів	2*16а	36	0,46	16,56	7,6176	
18.	Поздовжні балки днища	12*24а	465,6	0,147	68,4432	10,061150 4	0
19.	Лист настилу 2-го дна	12*9000	1080	1,4	1512	2116,8	0
20.	Міждонний лист	14*3200	448	1,4	627,2	878,08	0
21.	Поздовжні балки 2-го дна	12*24а	465,6	1,253	583,396 8	730,99619	0
22.	Обшивка внутрішнього борту	14*13740	1923,6	8,27	15908,1 7	131560,58 2	30262,65
23.1	РЖ анти крутильної коробки	2*16а	36	15,04	541,44	8143,2576	0
23.2	РЖ анти крутильної коробки	2*16а	36	14,36	516,96	7423,5456	0
23.3	РЖ анти крутильної коробки	2*16а	36	13,58	488,88	6638,9904	0
23.4	РЖ анти крутильної коробки	2*16а	36	12,9	464,4	5990,76	0
24.	Настил 1 платформи	14*2800	392	12,8	5017,6	64225,28	0

	Σ		10627,6		58772,8 1	597712,76 6	31852,41
--	----------	--	---------	--	--------------	----------------	----------

Відстань центру ваги еквівалентного бруса від вісі порівняння:

$$e = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{5877281}{106276} = 5.53 \text{ м};$$

Момент інерції еквівалентного бруса відносно нейтральної вісі:

$$I = 2 \cdot \left[(\sum_3 + \sum_4) - d^2 \cdot \sum_1 \right] = 2 \cdot [(597712766 + 318524) - 5.53^2 \cdot 106276] = 60.9 \cdot 10^4 \text{ м}^4 \cdot \text{м}^2 = 60.9 \cdot 10^8 \text{ м}^4;$$

Момент опору днища:

$$W_{\text{днища}} = \frac{I}{e} = \frac{60.9 \cdot 10^4}{5.53} = 11.01 \cdot 10^4 \text{ м}^3 \cdot \text{м} = 11.01 \cdot 10^6 \text{ м}^3;$$

Момент опору палуби:

$$W_{\text{палуби}} = \frac{I}{D + h_{\text{кот}} - e} = \frac{60.9 \cdot 10^4}{5.2 + 1.2 - 5.53} = 7.0 \cdot 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{м} = 7.0 \cdot 10^6 \text{ м}^3;$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і днища порівнюємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру: $W_{\text{нотр.}} = 4.64 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, $I_{\text{нотр.}} = 40.64 \cdot 10^8 \text{ м}^4$;

Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо

$$W_{\text{днища}} \geq W_{\text{нотр.}}; W_{\text{палуби}} \geq W_{\text{нотр.}}; I \geq I_{\text{нотр.}};$$

$$W_{\text{днища}} = 11.01 \cdot 10^6 \text{ м}^3 > W_{\text{нотр.}} = 4.64 \cdot 10^6 \text{ м}^3; W_{\text{палуби}} = 7.00 \cdot 10^6 \text{ м}^3 > W_{\text{нотр.}} = 4.64 \cdot 10^6 \text{ м}^3;$$

$$I = 60.9 \cdot 10^8 \text{ м}^4 > I_{\text{нотр.}} = 40.64 \cdot 10^8 \text{ м}^4;$$

Ці вимоги виконуються. Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою.

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.03	a
						.76
				c		

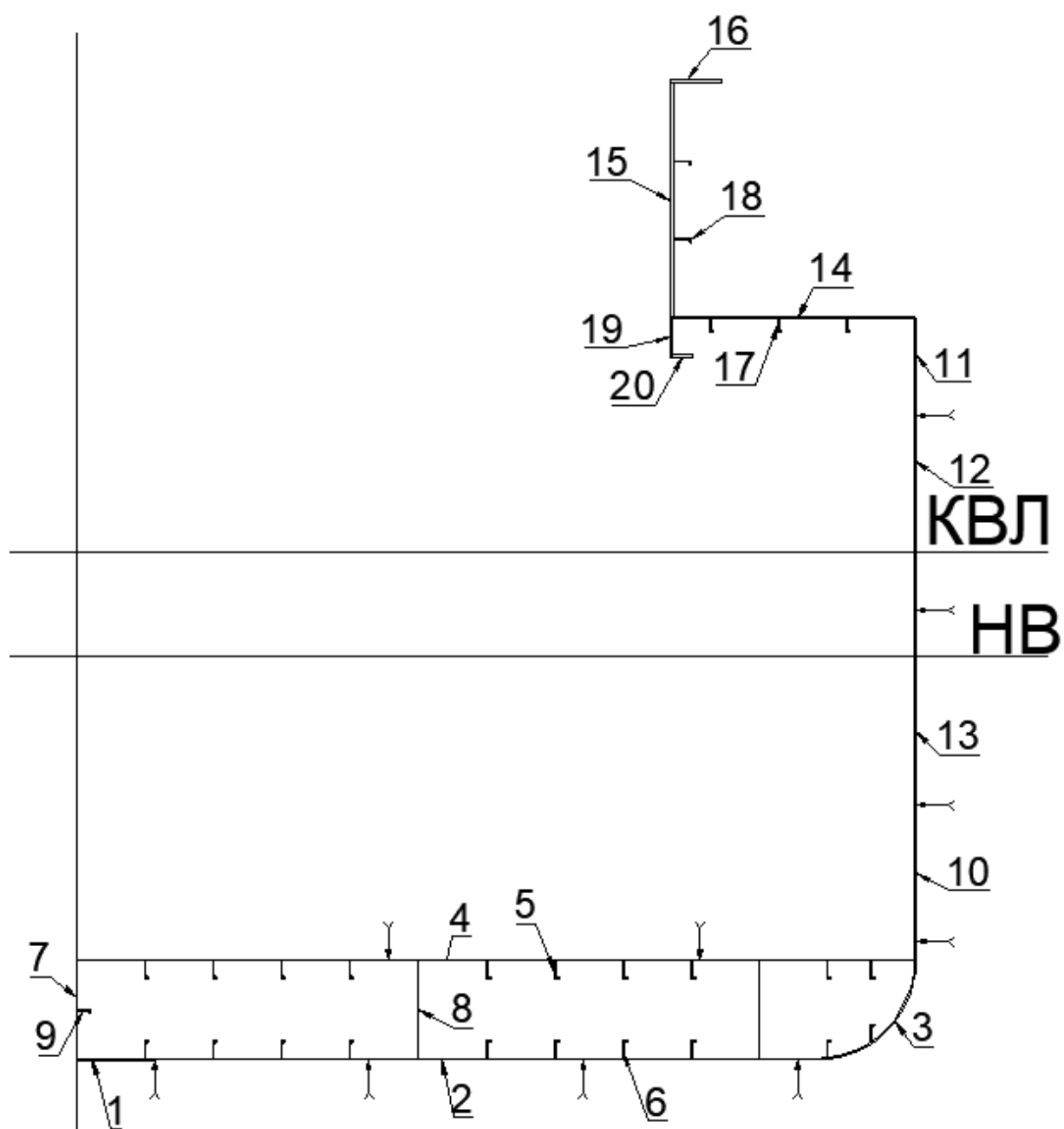
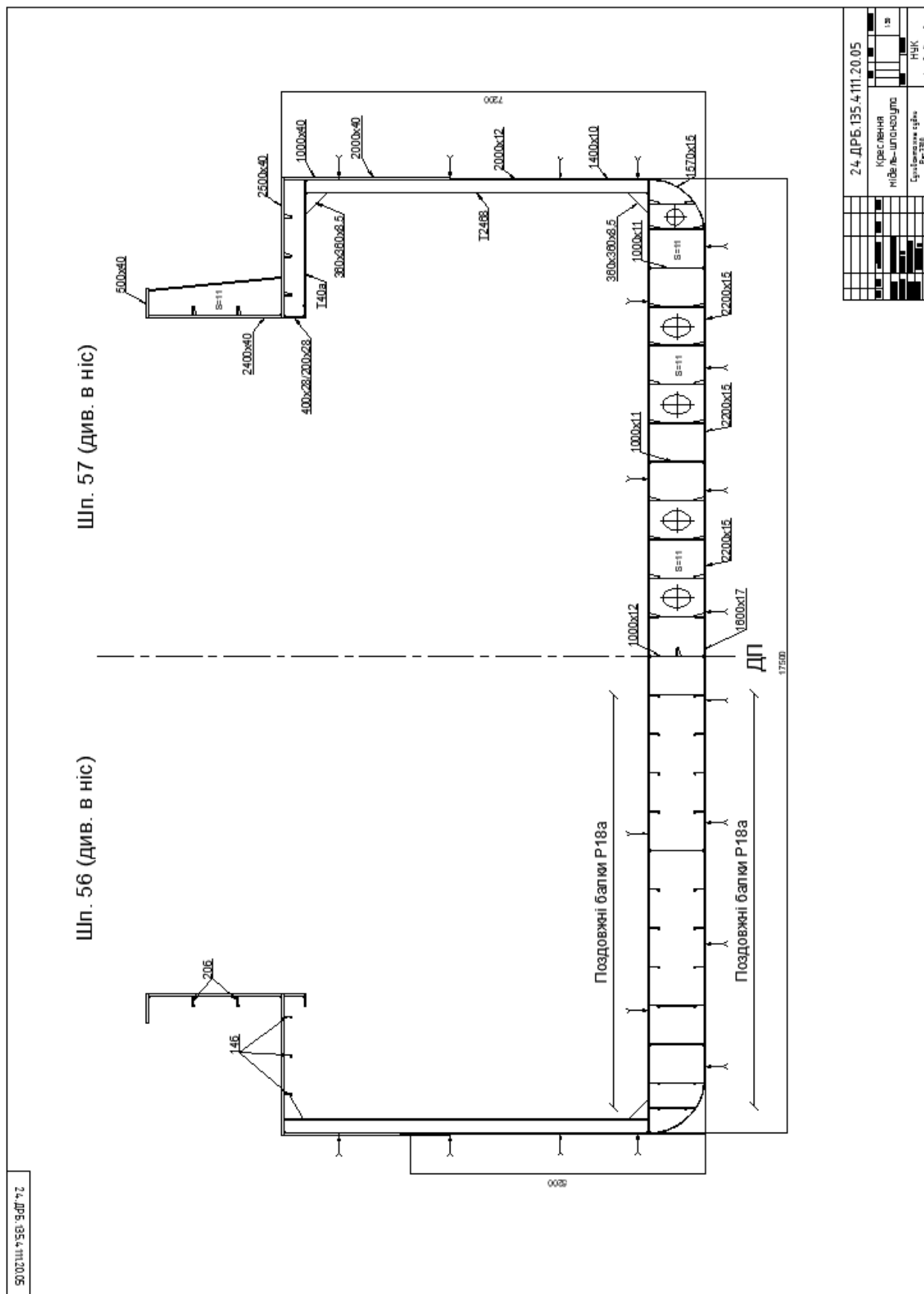


Рис 11 – Схема еквівалентного бруса



																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

					24.ДРБ.135.4111.20.ПЗ.04			
Змн.								
					Перевірка міцності пластини днища	Літ.		Аркушів
Студент	Пономаренко М.Р.						79	
Консульт.	Коростильов Л.І.					НУК		
Керівник	Астахова А.О.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

4. Перевірка міцності пластини днища

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

Вихідні дані:

$L_{\perp\perp}$	128,2 м
B	17,5 м
D	7,2 м
d	5,2 м
v_0	10,7 вуз.
C_B	0,860

4.1. Розрахункова схема пластини днищового перекриття.

У повздовжній системі набору днища розрахунковим елементом вважається прямокутна ділянка зовнішньої обшивки, обмежена елементами жорсткого днищового набору — повздовжніми ребрами жорсткості (такими як вертикальний кіль і днищеві стрингери) та суцільними флорами, що встановлюються через декілька шпаций. Відношення довшої сторони ділянки a до коротшої b завжди більше одиниці — $\gamma = a/b > 1$.

На рисунку нижче представлена розрахункова схема пластини днища із вказівкою розташування найбільш напружених точок 1 і 1'.

У дипломній роботі прийнято: $b = 800$ мм; $a = 3 \cdot 750 = 2250$ мм. Звідси: $\gamma = 2250/800 = 2.8125$.

Відповідно до Норм міцності, розрахунок на згин для такої пластини виконується, виходячи з припущення, що краї пластини жорстко закріплені, а опорний контур є нерухомим і жорстким. Розрахункове навантаження P вважається рівномірно розподіленим по всій поверхні пластини.

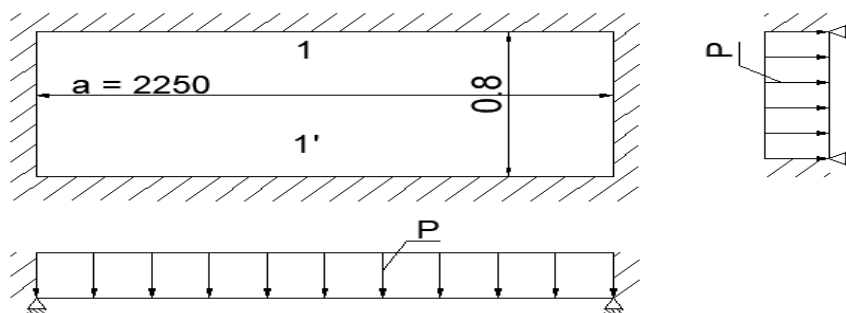


Рис. 4.1. Розрахункова схема

4.2. Розрахункове навантаження.

Відповідно до Норм міцності, розрахунковий тиск P на пластину днища визначається без урахування протитиску зсередини за формулою:

$$p = p_{cm} + p_{e0} = 52,28 + 41,17 = 93,45 \text{ кПа}$$

де $p_{ст}$ – розрахунковий статичний тиск води, а $p_{в0}$ – тиск, що зумовлений хитавицею на хвилюванні.

$$p_{cm} = \rho g d = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 5,2 = 52,28 \text{ кПа}$$

$$p_{e0} = \rho g \frac{h_1}{2} a_v a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{8,09}{2} \cdot 1,6 \cdot 0,63 = 41,17 \text{ кПа}$$

де $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$d = 5,2$ – осадка судна на рівні поля, що перевіряється на міцність, м;

h_1 – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах, що визначається або за графіком Норм міцності, або за формулами:

$$h_1 = k_c \cdot C_w = 0,95 \cdot 8,49 = 8,09 \text{ м};$$

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1,05 - \frac{2425}{128,2^2 + 8530} = 0,95 \leq 1;$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 128,2}{100} \right)^{3/2} = 8,49 \leq 10,75;$$

a_v, a_x – параметри хитавиці, що розраховуються за наближеними залежностями.

$$a_v = 0,8 \cdot \frac{v_0}{\sqrt{L}} \cdot \left(\frac{L}{10^3 + 0,4} \right) + 1,5 = 0,8 \cdot \frac{10,7}{\sqrt{128,2}} \cdot \left(\frac{128,2}{10^3 + 0,4} \right) + 1,5 = 1,6;$$

$$a_x = K_x \cdot \left(1 - \frac{2x_n}{L} \right) = 1,25 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 31,625}{128,2} \right) = 0,633,$$

де:

v_0 – швидкість судна на тихій воді, вузли;

L – довжина судна, м;

x_n – відстань від центру поля пластини до найближчого носового або кормового перпендикуляра, м;

$K_x = 1,25$ – для пластин, розташованих у ніс від міделя, та $K_x = 0,75$ – для пластин у корму від міделя.

4.3. Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини.

На розрахунковій схемі (рис. 1) небезпечні точки 1 і 1` вказані по середині довшої сторони опорного контуру.

Відповідно теорії згину тонких пластин максимальна нормальна напруга $\sigma_{\max}$ у зазначених точках визначаються за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 4976.48}{14^2} = 152.34 \text{ МПа},$$

де:

t – товщина пластини, мм;

M – погонний згинальний момент у точках 1, 1` опорного контуру;

$$M = kpb^2 \cdot 10^{-3} = 0,0832 \cdot 93.45 \cdot 800^2 \cdot 10^{-3} = 4976.48 \text{ Н},$$

де:

p – розрахунковий тиск, кПа;

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

$k = 0,0832$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин кромки пластини $\gamma = a/b$, який визначається за довідковими таблицями згину ізотропних жорстких пластин за умови їхнього жорсткого защемлення на жорсткому опорному контурі [2, 3, 4].

4.4. Перевірка умов міцності та висновки

Умова міцності має вигляд:

$$\sigma_{\max} \leq k_{\sigma} \sigma_m^H,$$

де

$\sigma_{\max} = 65,24$ – максимальна напруга, МПа;

σ_m^H – нормативна границя плинності матеріалу з нормальних напружень, МПа, що визначається як

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

$R_{eH} = 315$ – границя плинності, в МПа;

k_σ – коефіцієнт напруг, що допускаються, який згідно з Нормами для пластин днища приймається за таблицею 4.1. Для проміжку $(0,15 \dots 0,25)L$ від носа чи корми коефіцієнт визначається лінійною інтерполяцією.

$$\sigma_m^H = k_H \cdot R_{eH} = 0,97 \cdot 315 = 305,55;$$

$$k_H = \frac{1}{1 + 0,16 \cdot \left(\frac{R_{eH}}{235} - 1 \right)^{3/2}} = \frac{1}{1 + 0,16 \cdot \left(\frac{315}{235} - 1 \right)^{3/2}} = 0,97;$$

Таблиця 4.1.

Система набору	Днища	
	середня частина (0,25L у ніс і корму)	окінцівості (0,1L від носа або корми)
Поздовжня	1,1	1,2
Поперечна	0,8	1,2

Якщо умова міцності не виконується, необхідно збільшити товщину днищової обшивки до стандартної величини, що забезпечує виконання.

$$k_\sigma \sigma_m^H = 1,1 \cdot 305,55 = 336,105;$$

$$\sigma_{\max} = 152,34 \leq k_\sigma \sigma_m^H = 336,105.$$

Умова міцності виконується.

Висновки

З огляду на завдання дипломної роботи, було спроектовано суховантажне судно для перевезення сипучих вантажів. У процесі роботи мною були встановлені основні розміри судна у двох наближеннях, а також параметри головного двигуна. Також, було створено теоретичне креслення та 3D модель судна з використанням програмного забезпечення Maxsurf та AutoCad, і виконані розрахунки об'ємів та центрів тяжіння приміщень; судно було удиференційовано при повному завантаженні.

Здійснено розрахунки в розділі теорії корабля, включно з елементами плавучості та початкової остійності. Обчислено діаграму статичної остійності, перевірено критерій погоди та відповідність діаграми статичної остійності вимогам правил Регістру.

Відповідно до "Правил класифікації та побудови суден" Регістру судноплавства України, було розроблено та змонтовано у середовищі AutoCad конструктивний мідель-шпангоут судна, та проведено перевірку його загальної міцності.

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, 2002.
3. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2003.
4. Титов И.А. Выбор основных элементов крупнотоннажных судов с полными образованиями // Судостроение. – 1988. – № 2. – С.8–11.