

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Кораблебудівний навчально-науковий інститут
(повне найменування інституту, назва факультет)

Кафедра теорії та проектування суден
(повна назва кафедри)

Допущений до захисту
Завідуючий кафедрою
В. О. Іскраков
"20" 06 2025р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

Бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6850 т»

Виконала: студентка 4 курсу, групи 4111
напряму підготовки (спеціальності)

135 «Суднобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Тимошенко К.В.

Керівник Ястреба О.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Приходько В.К.

(прізвище та ініціали)

Члени комісії

**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 ОІП «Кораблі і океанотехніка»
Ястреба **к.т.н. О.П. Ястреба**
“ ” 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ групи 4111
Тимошенко Катерині Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект суховантажного судна вантажопідйомністю 6850 т
Керівник роботи Ястреба Олексій Петрович, к.т.н кафедри ТПС НУК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) 6850 т
- 3.2. Вид вантажу (питома вага вантажу) 1,54 т/м³
- 3.3. Швидкість експлуатаційна 11,2 вуз
- 3.4. Клас судна за Правилами класифікаційного товариства КМ ЛУ2 А1
- 3.5. Дальність та район плавання 6500 миль
- 3.6. Додаткові вимоги МОД, екіпаж – 11 чол

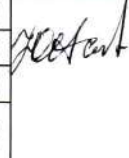
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 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 центру мас та удиферентування судна (100 % вантажу, 100 % запасів).
- 4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.
- 4.7. Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства.
- 4.8. Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.

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

- 5.1. Теоретичне креслення.
- 5.2. Гідростатичні криві.
- 5.3. Діаграми остійності неушкодженого судна.
- 5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.
- 5.5. Конструктивний мідель-шпангоут.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	Астахова А.О.	05.02.25		13.06.25	
теорія корабля	Пашенко Ю.М.	24.03.25		06.05.25	
конструкція корпусу	Шарун Г.В.	03.04.25		13.06.25	
будівельна механіка корабля	Коростильов Л.І.	06.05.25		28.05.25	

7. Дата видачі завдання 5 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	15.02.2025	
2.	Побудова теоретичного креслення.	24.02.2025	
3.	Побудова гідростатичних кривих.	17.03.2025	
4.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центру мас та удиферентування судна.	14.04.2025	
5.	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	12.05.2025	
6.	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Конструктивний мідель-шпангоут.	2.06.2025	
7.	Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.	9.06.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки.	16.06.2025	

Студентка Тимошенко К.В. _____
 Керівник роботи Ястреба О.П. _____

Зміст

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА-ПРОЄКТУ	8
1.1. Розрахунок елементів проєкту у першому наближенні	9
1.2. Визначення на ЕОМ буксирувальної потужності та вибір марки головного двигуна.....	12
1.3. Визначення елементів проєкту судна в другому наближенні.....	14
1.4. Побудова теоретичного креслення та розрахунок елементів плавучості і початкової остійності.....	18
1.5. Побудова креслення загального розташування	19
1.6. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ.....	19
1.7. Удиферентування проєкту судна.....	21
РОЗДІЛ 2 ПЕРЕВІРКА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА.....	24
2.1. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.....	25
2.2. Перевірка вимог Правил Регістру до остійності проєкту.....	29
РОЗДІЛ 3 НАБІР КОРПУСУ ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ	33
3.1. Головні розміри судна.....	34
3.2. Архітектурно-конструктивний тип судна	34
3.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна	34
3.4. Вибір марки сталі для корпусу судна	34
3.5. Вибір шпації.....	35
3.6. Викреслення обводів мідель-шпангоута	35
3.7. Поділ на листи	37
3.8. Урахування зносу і корозії в'язей корпусу.....	38
3.9. Розрахункові навантаження	39
3.10. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться	42
3.11. Загальна поздовжня міцність судна.....	44
3.12. Проєктування елементів конструкцій корпусу судна за правилами регістру	46
3.13. Розрахунок еквівалентного бруса.....	52
РОЗДІЛ 4 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ ПЛАСТИНИ ДНИЩА.....	56
4.1. Розрахункова схема пластини днищового перекриття	56
4.2. Розрахункове навантаження	57
4.3. Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини.....	58
4.4. Перевірка умов міцності та висновки.....	58
ВИСНОВОК	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація

Метою дипломної роботи є систематизація, закріплення теоретичних знань, отриманих протягом навчання та використання практичних навичок.

Темою дипломної роботи є розробка проекту універсального суховантажного судна вантажопідйомністю 6850 т, швидкістю 11,2 вузли та дальністю плавання 6500 миль.

У ході виконання дипломної роботи, відповідно до отриманого завдання, було виконано розрахунок водотоннажності, отримано головні розміри судна, обрано головний двигун. За допомогою програмного забезпечення Maxsurf Modeler – отримано 3D модель, яка відповідає розрахованим головним розмірам, та проекції для отримання теоретичного креслення; Maxsurf Stability – проведено розрахунок навантаження мас, отримано координати центра мас та виконано удиферентування судна.

Далі за допомогою Maxsurf Stability було виконано розрахунок елементів теоретичного креслення, побудовано гідростатичні криві, криві форми, пантокарени, отримана діаграма статичної остійності та перевірено відповідність вимогам Правил Регістру судноплавства України.

У розділі «Конструкція корпусу корабля» було обрано конструкцію та розраховано набір універсального суховантажного судна, перевірена загальна міцність та міцність на згин пластини зовнішньої обшивки днища відповідно до вимог Норм міцності морських суден.

Графічна частина роботи складається з 5 креслень: теоретичне креслення, гідростатичні криві, діаграма остійності неушкодженого судна, креслення загального розташування, конструктивний мідель-шпангоут.

Ключові слова: суховантажне судно проектування, головні розміри, удиферентування, остійність, загальна міцність.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

The purpose of the thesis is to systematize, consolidate the theoretical knowledge obtained during training and use practical skills.

The topic of the thesis is the development of a project for a universal dry cargo ship with a carrying capacity of 6850 tons, a speed of 11.2 knots and a cruising range of 6500 miles.

During the execution of the thesis, in accordance with the task received, a calculation of the displacement was performed, the main dimensions of the ship were obtained, and the main engine was selected. Using the Maxsurf Modeler software, a 3D model was obtained that corresponds to the calculated main dimensions, and projections to obtain a theoretical drawing; Maxsurf Stability - a calculation of the mass load was performed, the coordinates of the center of mass were obtained and the ship was differentiated.

Next, using Maxsurf Stability, the calculation of the elements of the theoretical drawing was performed, hydrostatic curves, shape curves, pantokarenas were constructed, a static stability diagram was obtained, and compliance with the requirements of the Rules of the Shipping Register of Ukraine was checked.

In the chapter "Ship hull design", the design was selected and the set of a universal dry cargo ship was calculated, the overall strength and bending strength of the outer bottom plating plate were checked in accordance with the requirements of the Strength Standards for Seagoing Vessels.

The graphic part of the work consists of 5 drawings: theoretical drawing, hydrostatic curves, stability diagram of an intact vessel, general arrangement drawing, structural midship frame.

Keywords: dry cargo ship design, main dimensions, equilibrium, stability, overall strength.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Кафедрою теорії та проектування суден було видано завдання на розробку проекту суховантажного судна вантажопідйомністю 6850 т, класу КМ ЛУ2 А1, з експлуатаційною швидкістю 11,2 вузла.

Суховантажні судна є одними з найбільш поширених типів вантажних суден у світовому морському флоті. Універсальне суховантажне судно призначено для перевезення різноманітних вантажів: генеральні вантажі (вантаж, що перевозиться у пакуванні), навалочні та насипні вантажі (наприклад, пісок, зерно), контейнери міжнародного стандарту (20 і 40-футові).

Навантаження та розвантаження суховантажних суден здійснюється вертикальним способом через вантажні люки верхньої палуби. Такі судна оснащені стаціонарними або пересувними кранами, стрілами, транспортерами та іншими пристроями.

Проектоване судно є однопалубним, з транцевою кормою та похилим форштевнем, з кормовим розміщенням машинного відділення і житлової надбудови, з ютом та баком, з подвійним дном. Судно має 3 вантажних трюми, що розділені поперечними водонепроникними перебірками.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_K + \bar{P}_{OB} + \bar{P}_{EV} + \bar{P}_{IB} + \bar{P}_3 + \bar{P}_{3B} + \bar{P}_B + \bar{P}_\Gamma,$$

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

$\bar{P}_K, \bar{P}_{OB}, \bar{P}_{EV}, \bar{P}_{IB}, \bar{P}_3, \bar{P}_{3B}, \bar{P}_B, \bar{P}_\Gamma$ – 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:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{6485}{9146} = 0,709$$

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:

$$\bar{\eta}_B^{кор} = \bar{\eta} - \left(\bar{a}_{EV} \cdot \left(\frac{v_g}{\bar{v}_g} \right)^3 + \bar{a}_\Pi \cdot \left(\frac{v_g}{\bar{v}_g} \right)^2 \cdot \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{EV} + \bar{a}_\Pi$$

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

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

$$\bar{\eta}_B^{кор} = 0,709 - \left(0,0082 \cdot \left(\frac{11,7}{11,4} \right)^3 + 0,0318 \cdot \left(\frac{11,2}{10,9} \right)^2 \cdot \frac{6500}{6000} \right) + 0,0082 + 0,0318 = 0,704$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_B^{\kappa_{op}} \cdot \left(\frac{P_B}{\bar{P}_B} \right)^{0,25} = 0,704 \cdot \left(\frac{6850}{6485} \right)^{0,25} = 0,714$$

де P_B – вантажопідйомність проєкту.

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

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{6850}{0,714} = 9600$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

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

— відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}}{\rho}}} = \frac{122,4}{\sqrt[3]{\frac{9146}{1,025}}} = 5,9013$$

— очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}_1}{\rho}} = 5,9013 \cdot \sqrt[3]{\frac{9600}{1,025}} = 124,39$$

— число Фруда:

проєкту

$$Fr = \frac{0,514 v_e}{\sqrt{gL}} = \frac{0,514 \cdot 11,2}{\sqrt{9,81 \cdot 124,39}} = 0,1649$$

прототипу

$$Fr = \frac{0,514 \bar{v}_e}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 10,9}{\sqrt{9,81 \cdot 122,4}} = 0,1618$$

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

Таблиця 1.1.2.1 — Вибір коефіцієнтів повноти проєкту в порівнянні їх з прототипом

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
поздовжньої повноти	$C_p = 1 - \frac{0,41}{1 + 100 \exp(-25Fr)}$	0,844	0,851	0,844
загальної повноти	$C_b = 1 - \frac{0,48}{1 + 100 \exp(-24Fr)}$	0,835	0,858	0,835
повноти площі мідель-шпангоута	$C_m = \frac{C_b}{C_p}$	0,990	0,995	0,990
повноти площі ватерлінії	$C_{wp} = 1,01 \cdot C_p^{2/3}$	0,902	0,947	0,902

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

— визначення відношення ширини до осадки:

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

— визначення відношення висоти борту до осадки:

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

— визначення відношення довжини до ширини борту:

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

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

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

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

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

Таблиця 1.1.3.1 — Головні розміри у першому наближенні

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/d)_1}{k_{\text{вч}} \rho C_b (L/B)_1}}$	17,1
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	126,1

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	5,2
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	7,1

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.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,007	0,018	0,4	0,208
2	0,780	0,011	0,028	0,9	0,747
3	1,060	0,015	0,038	1,7	1,804
4	1,340	0,019	0,048	2,6	3,539
5	1,620	0,023	0,058	3,7	6,108
6	1,900	0,027	0,068	4,9	9,662
7	2,180	0,031	0,078	6,4	14,347
8	2,460	0,035	0,088	8,0	20,309
9	2,740	0,040	0,098	9,8	27,687
10	3,020	0,044	0,108	11,8	36,620
11	3,300	0,048	0,118	13,9	47,245
12	3,580	0,052	0,128	16,2	59,694
13	3,860	0,056	0,138	18,7	74,098
14	4,140	0,060	0,148	21,3	90,588
15	4,420	0,064	0,158	24,0	109,291
16	4,700	0,068	0,168	27,0	130,331
17	4,980	0,072	0,178	30,0	153,834
18	5,260	0,076	0,188	33,2	179,923
19	5,540	0,080	0,198	36,6	208,723
20	5,820	0,084	0,208	40,1	240,360
21	6,100	0,088	0,218	43,8	274,964
22	6,380	0,092	0,228	47,6	312,673
23	6,660	0,096	0,238	51,6	353,629
24	6,940	0,100	0,248	55,7	397,993
25	7,220	0,104	0,258	60,0	445,937
26	7,500	0,108	0,268	64,5	497,654
27	7,780	0,112	0,278	69,1	553,363
28	8,060	0,116	0,288	74,0	613,309
29	8,340	0,120	0,298	79,0	677,769
30	8,620	0,124	0,308	84,2	747,057
31	8,900	0,128	0,318	89,7	821,526
32	9,180	0,132	0,328	95,5	901,571
33	9,460	0,137	0,338	101,5	987,633
34	9,740	0,141	0,349	107,8	1080,200
35	10,020	0,145	0,359	114,4	1179,810
36	10,300	0,149	0,369	121,4	1287,050
37	10,580	0,153	0,379	128,8	1402,561
38	10,860	0,157	0,389	136,7	1527,031
39	11,140	0,161	0,399	144,9	1661,204
40	11,420	0,165	0,409	153,7	1805,870
41	11,700	0,169	0,419	163,0	1961,872

Потужність для швидкості на випробуваннях: $v_e = 11,7$ вузлів, $N_B = 1961$ кВт.

Потужність для експлуатаційної швидкості $v_e = 11,7$ вузлів визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_B = 1691$ кВт.

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

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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
5S26MC	2000	250	179	3732	1880	4825	34

1.3 Визначення елементів проєкту судна в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності. Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, що виражене у функції головних розмірів, у якому складові навантаження мас розраховуються за формулами, які дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_K = q_K C_b^n LBD$, 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:

$$P_K = q_K C_b^n LBD = q_K C_b^n LBD \cdot \frac{\Delta}{\rho_6 k_{\epsilon} C_b L B d} = \Delta \left(q_K \cdot \frac{C_b^n}{C_b} \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_6 k_{\epsilon c}} \right)$$

$$P_O = q_O (LBD)^{2/3} = \Delta^{2/3} \cdot \left(q_O \cdot \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_6 k_{\epsilon c}} \right)^{2/3} \right)$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\Delta_1 \cdot \left(1 - q_K \cdot \frac{C_b^n}{C_b} \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_6 k_{\epsilon c}} - a_{заб} - a_{зв} \right) = \Delta_1^{2/3} \cdot \left(q_O \cdot \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_6 k_{\epsilon c}} \right)^{2/3} \right) + q_{ey} N_{ey}^e + q_n k_{m3} k_{\epsilon c} N_{ey}^e \frac{R}{v_e} + P_{\epsilon}.$$

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 проєкту	$C_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,855
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,1316
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\bar{P}_{OB}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,0473
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доо}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{3B} - a_B$	0,8117
	$m = q_{OB} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	1,5566
	$A = q_{EV} N_{EV}^e + q_{П} k_{мз} k_{вч} N_{EV}^e \frac{R}{v_e} + P_B$	7164
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

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

$$\Delta_2 = 9698$$

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

Таблиця 1.3.1.2 – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n}{C_b} \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_e k_{вч}} \right)$	1730
Маса обладнання, т	$P_O = q_O \Delta^{2/3} \cdot \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{C_b \rho_e k_{вч}} \right)^{2/3}$	652
Маса енергетичної установки, т	$P_{EV} = q_{EV} N_{EV}^e$	71
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	56
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{3B} = a_{3B} \Delta_2$	97

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса палива, т	$P_{\Pi} = q_{\Pi} N_{EY}^6 \frac{R}{v_e} k_{мз} k_{доо}$	242
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	6850
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{OB} + P_{EY} + P_{\Pi} + P_3 + P_{3B} + P_B + P_B$	9698

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

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:

$$(D/d)_2 = (1,07 \mu_6 \eta_6 + 0,16) k_e$$

$$\left(\frac{D}{d}\right)_2 = (1,07 \cdot 1,54 \cdot 0,714 + 0,16) \cdot 1,03 = 1,375$$

Приймаємо $\left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1,375$

— визначення відношення ширини до осадки за умови забезпечення остійності та плавності хитавиці:

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

$$\frac{B}{d} = \frac{0,05 + \sqrt{0,05^2 + \frac{1,032}{3} \cdot \frac{0,902^2}{0,835} \cdot \left(0,77 \cdot \frac{7,1}{5,2} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,902}{0,835}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{1,032}{6} \cdot \frac{0,902^2}{0,835}} = 2,848$$

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.

Приймаємо $\frac{B}{d} = 3,32$

Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_2 \cdot k_{\text{вн}} \cdot \rho} = \sqrt{5,9^3 \cdot 0,835 \cdot 3,32 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 7,316$$

Приймаємо $\left(\frac{L}{B}\right)_2 = 7,316$

1.3.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_{\text{вн}} \rho_{\text{в}} C_b L_2 B_2 d_2$$

де $k_{\text{вн}} = 1,01$ - коефіцієнт, який враховує частини корпусу, що виступають за обводи ТК.

Використавши відношення головних розмірів, запишемо рівняння у виді:

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

Таблиця 1.3.3.1 – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні.

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2 (B/d)_2}{k_{\text{вн}} \rho_{\text{в}} C_b (L/B)_2}}$	17,2
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 \cdot B_2$	126,5
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{D}{d}\right)_2}$	5,2
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)_2$	7,6

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

1.5 Побудова креслення загального розташування

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

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, мачти, вантажні стріли, леєрну огорожу, суднові 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.

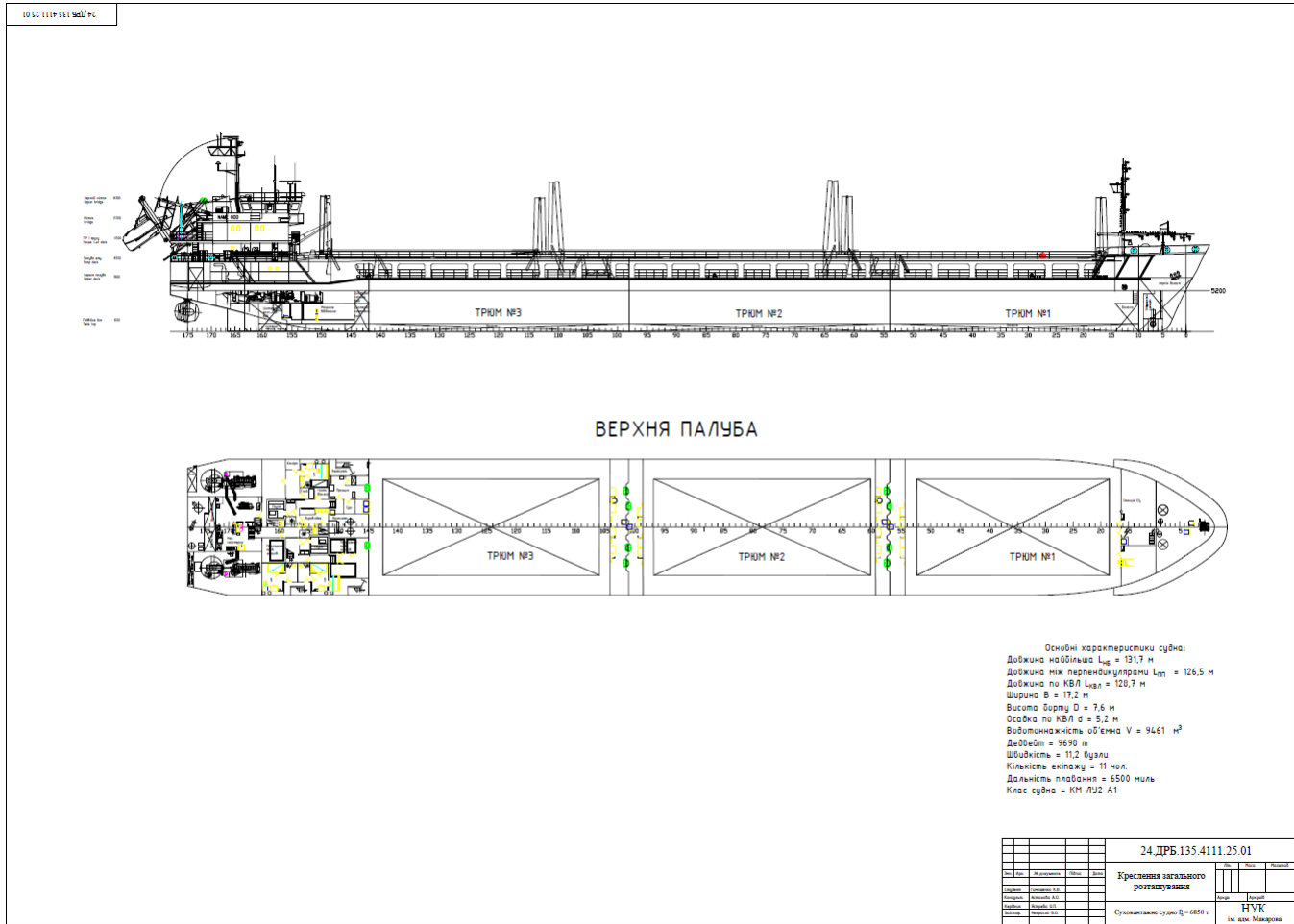


Рис 1.6.1. Креслення загального розташування

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002L + 0,48 = 0,002 \cdot 126,5 + 0,48 = 0,73 \text{ м};$$

Приймаємо $a_0 = 750 \text{ мм}$.

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

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

Таблиця 1.6.1 – Відсіки судна.

Шпация	Відсік	Довжина
163-175	Ахтерпік	$L_{\text{ахт}} = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ м}$
142-163	Машинне відділення	$L_{\text{мв}} = 21 \cdot 0,75 = 15,75 \text{ м}$
98-142	Трюм №3	$L_{\text{трюм3}} = 44 \cdot 0,75 = 33 \text{ м}$
54-98	Трюм №2	$L_{\text{трюм2}} = 44 \cdot 0,75 = 33 \text{ м}$
10-54	Трюм №1	$L_{\text{трюм1}} = 15 \cdot 0,75 + 29 \cdot 0,7 = 31,56 \text{ м}$
0-10	Форпік	$L_{\text{фор}} = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ м}$
Сума		$L = 126,5 \text{ м}$

Висоту другого дна розраховуємо за формулою:

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

$$h = \frac{126,5 - 40}{570} + 0,04 \cdot 17,2 + 3,5 \cdot \frac{5,2}{126,5} = 0,982 \text{ м}$$

Приймаємо $h = 1 \text{ м}$.

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

$$b_{\text{пб}} = 0,5 + \frac{DW}{20000} = 0,5 + \frac{7149}{20000} = 0,857 \text{ м}$$

Приймаємо $b_{\text{пб}} = 1 \text{ м}$.

Положення ЦМ визначається розрахунком з використанням Loadcase. При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком із судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за залежностями:

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$X_{gi} = \frac{\bar{X}_{gi}}{\bar{L}} L; \quad Z_{gi} = \frac{\bar{Z}_{gi}}{\bar{H}} H;$$

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл.1.6.2.

Таблиця 1.6.2

	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	1730,000	1730,000			-85,000	0,000	5,360	0,000	User Specified
2	Engine	1	71,000	71,000			-119,270	0,000	5,400	0,000	User Specified
3	Equipment	1	652,000	652,000			-82,500	0,000	9,550	0,000	User Specified
4	Margin	1	97,000	97,000			-75,000	0,000	6,890	0,000	User Specified
5	Total 1			2550,000			-84,935	0,000	6,491	0,000	
6	Hold 1	98,67%	2031,774	2004,752	3130,623	3088,985	-21,814	0,000	4,681	0,000	User Specified
7	Hold 2	99,89%	2109,688	2107,367	3250,675	3247,099	-54,060	0,000	4,297	0,000	Maximum
8	Hold 3	100%	2109,687	2109,687	3250,674	3250,674	-87,060	0,000	4,301	0,000	Maximum
9	Hatch 1	1	193,300	193,300			-21,520	0,000	8,100	0,000	User Specified
10	Hatch 2	1	217,500	217,500			-54,060	0,000	8,100	0,000	User Specified
11	Hatch 3	1	217,500	217,500			-87,060	0,000	8,100	0,000	User Specified
12	Total cargo			6850,106			-54,916	0,000	4,760	0,000	
13	DB Hold1	0%	324,376	0,000	386,161	0,000	-26,831	0,000	0,000	0,000	Maximum
14	DB Hold 2	0%	454,742	0,000	541,360	0,000	-54,060	0,000	0,000	0,000	Maximum
15	DB Hold 3	32,06%	454,760	145,796	541,380	173,567	-87,061	0,000	0,169	0,000	User Specified
16	DB Engine room	98%	98,170	96,206	116,869	114,531	-108,057	0,000	0,550	0,000	Maximum
17	Total fuel	18,17%	1332,047	242,002	1585,770	288,098	-95,408	0,000	0,320	0,000	
18	Forepeak	0%	398,226	0,000	388,513	0,000	-5,824	0,000	0,000	0,000	Maximum
19	DS Hold 1 PS	0%	125,016	0,000	121,967	0,000	-31,167	-7,905	1,000	0,000	Maximum
20	DS Hold 2 PS	0%	224,331	0,000	218,859	0,000	-54,060	-7,961	1,000	0,000	Maximum
21	DS Hold 2 SB	0%	224,331	0,000	218,859	0,000	-54,060	7,961	1,000	0,000	Maximum
22	DS Hold 3 PS	0%	224,331	0,000	218,859	0,000	-87,060	-7,961	1,000	0,000	Maximum
23	DS Hold 3 SB	0%	224,331	0,000	218,859	0,000	-87,060	7,961	1,000	0,000	Maximum
24	DS Hold 1 SB	0%	125,016	0,000	121,967	0,000	-31,167	7,905	1,000	0,000	Maximum
25	Aftpeak	0%	862,133	0,000	841,106	0,000	-120,230	0,000	0,000	0,000	Maximum
26	Total ballst	0%	2407,715	0,000	2348,991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
27	Supply	1	56,000	56,000			-106,900	0,000	7,880	0,000	User Specified
28	Total supply			56,000			-106,900	0,000	7,880	0,000	
29	Total Loadcase			9698,108	13566,733	9874,857	-64,120	0,000	5,122	0,000	
30	FS correction								0,000		
31	VCG fluid								5,122		

Таблиця 1.6.3 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{L}} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{\bar{H}} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем	2550	-84,93	6,49	-216571,5	16549,5
2	Вантаж	6850	-54,91	4,76	-376133	32606
3	Постачання	56	-106,90	7,88	-5986,4	441,3
4	Паливо	242	-95,41	0,32	-23089,2	77,4
	Σ					
	Водотоннажність повна	9698	-64,12	5,12	-621780	49674

1.7. Удиферентування

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

На рис 1.6.1 представлена візуалізація посадки судна, а у табл. 1.6.4 – параметри посадки.

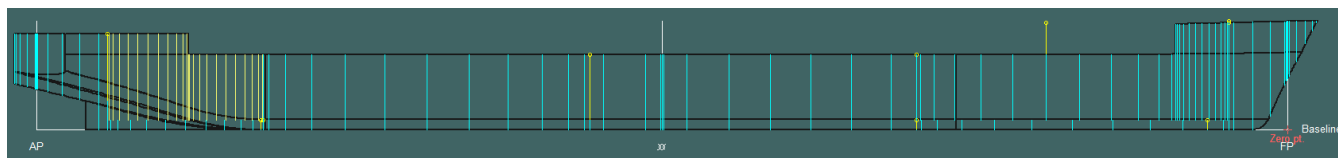


Рисунок 1.6.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

Таблиця 1.6.4 – Посадка судна

1	Осадка розрахункова (на міделі), м	5,2
2	Вагова водотоннажність, т	9698
3	Крен на правий борт, град	0,0
4	Осадка носом (на носовому перпендикулярі), м	5,2
5	Осадка кормою (на кормовому перпендикулярі), м	5,2
6	Осадка в центрі ваги площі ватерлінії, м	5,2
7	Диферент (+ на корму), м	0,000
8	Довжина по ватерлінії, м	128,685
9	Ширина по ватерлінії, м	17,2
10	Площа змоченої поверхні, м ²	3105,366
11	Площа ватерлінії, м	2033,483
12	Коефіцієнт поздовжньої повноти C_p	0,844
13	Коефіцієнт загальної повноти C_b	0,835
14	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту C_m	0,990
15	Коефіцієнт повноти площі ватерлінії C_{wp}	0,902
16	Відстань ЦВ судна від міделя (абсциса центру величини (+ в ніс)), м	-64,108
17	Відстань ЦТ площі ватерлінії від міделя (абсциса центра ваги площі ватерлінії), М	-67,237
18	Апліката центра величини, м	2,720
19	Піднесення ЦТ судна на ОЛ (апліката центра ваги), м	5,122
20	Поперечний метацентричний радіус, м	4,864
21	Поздовжній метацентричний радіус, м	262,090
22	Поперечна метацентрична висота, м	2,462
23	Поздовжня метацентрична висота, м	259,688
24	Піднесення поперечного метацентру над ОЛ (апліката поперечного метацентру), м	7,584
25	Піднесення поздовжнього метацентру над ОЛ (апліката поздовжнього метацентру), м	264,810
26	Число тонн на 1 см осадки, т/см	20,843
27	Момент, що диференціює на 1 см, т м/см	199,073
28	Момент, що хрещує на 1 градус, т м/град	416,750
29	Максимальний нахил палуби, град	0,000
30	Кут диферента (+ на корму), град	0,000

В результаті отримуємо диферент 0 м на корму.

Таким чином $X_c = -64,120$; $X_g = -64,120$.

Згідно даним табл.1.7.3 розрахунковий стан має такі характеристики:

$T_n = 5,2$ – осадка носом, м;

$T_k = 5,2$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0$ – диферент, м;

Для удиферентування потрібно виконання наступних умов:

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

– $\Delta T \leq (0,006 \dots 0,008)L = 0,008 \cdot 126,5 = 1,012$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0 < 1,012$, умова задовольняє;

– $T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{126,5}{40} = 3,163$ – умова відсутності слемінгу: $5,2 > 3,163$, умова задовольняє;

– $T_k \geq d_{\text{зв}} - d_{\text{зв}} = 3,825$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $5,2 > 3,825$ – умова задовольняє.

– $T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $5,2 = 5,2$ – умова задовольняє.

Висновок

Таким чином $X_c = -64,120$; $X_g = -64,120$.

Отже, проєкт у повному вантажі удиферентовано.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 – поточна 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.:

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

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:

$$Z_c = \frac{M_{\text{оп}}}{V},$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

7. Поздовжній момент інерції площі ватерлінії I_y , м⁴:

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

8. Поперечний момент інерції площі ватерлінії I_x , м⁴:

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

9. Поздовжній метацентричний радіус R_y , м:

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

10. Поперечний метацентричний радіус R_x , м:

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

11. Апліката поперечного метacentра Z_m , м:

$$z_m = z_c - r$$

12. 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.

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

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

14. 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.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

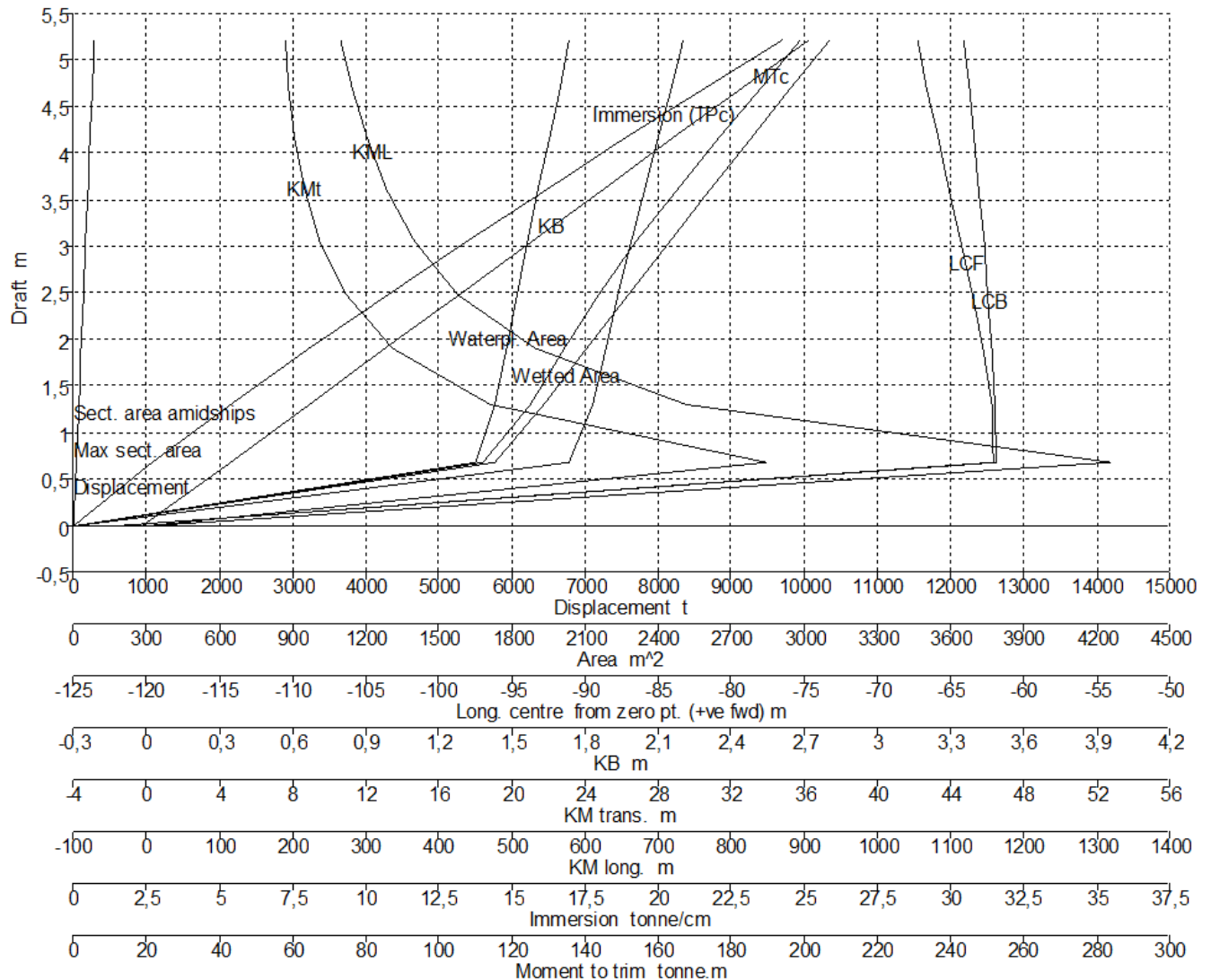


Рис. 2.1.1. Розрахунок елементів теоретичного креслення

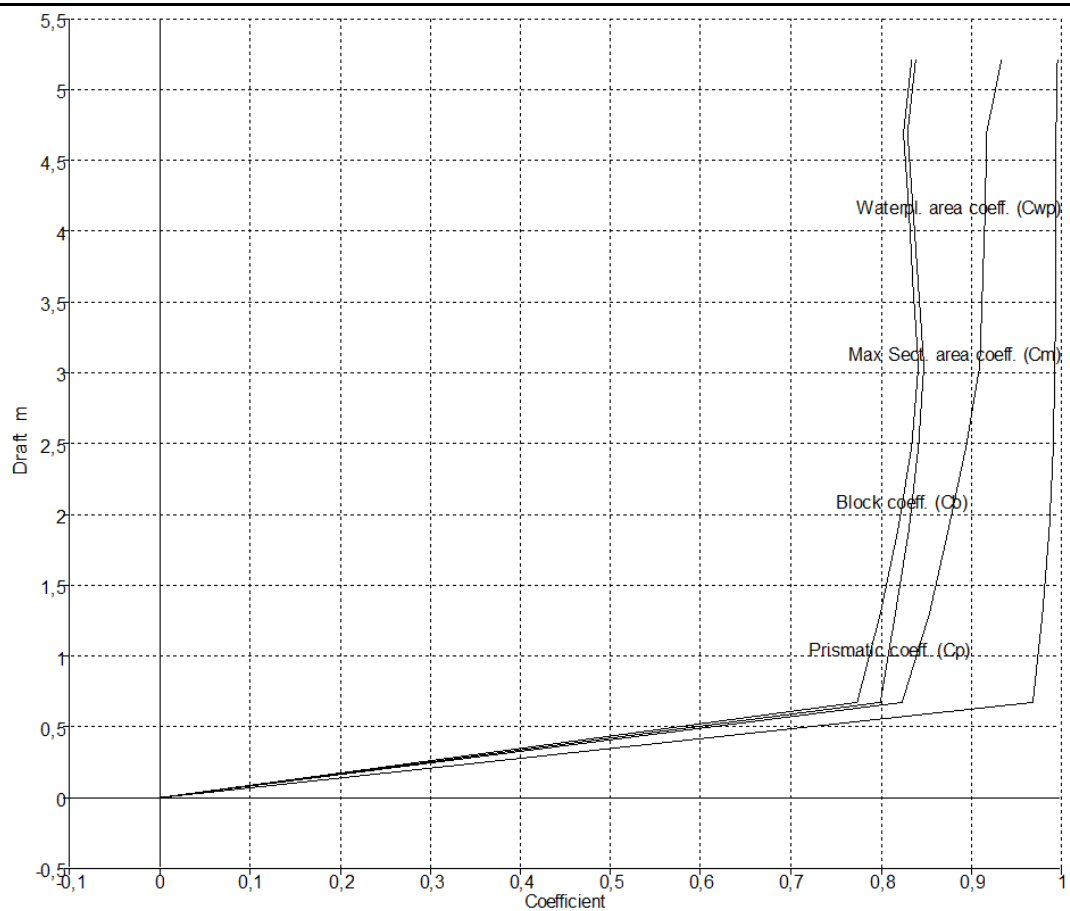


Рис. 2.1.2. Коефіцієнти повноти

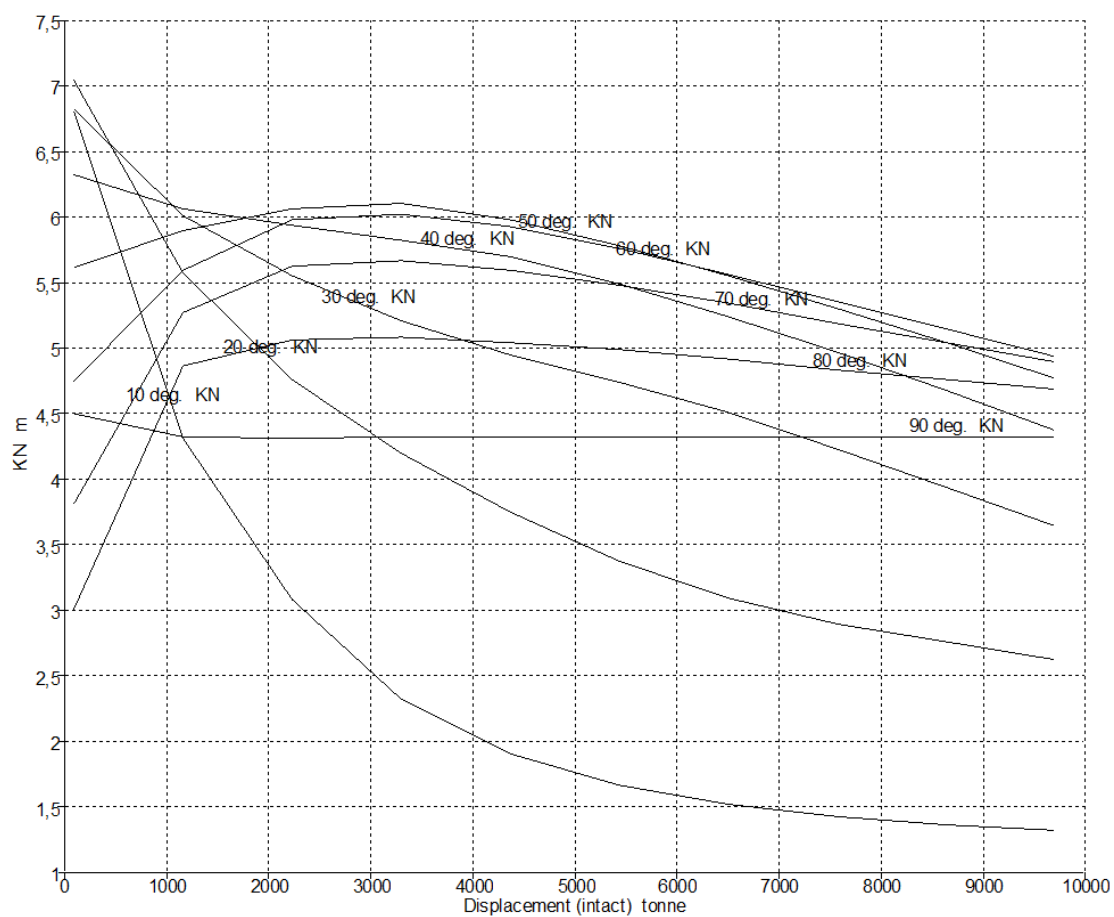


Рис. 2.1.3. Пантокарени

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ

Аркуш

28

Таблиця 2.1.1 – Розрахунок елементів теоретичного креслення

	Draft Amidships m	0,000	0,677	1,297	1,897	2,481	3,052	3,610	4,155	4,688	5,210
1	Displacement t	0,000	1078	2155	3233	4310	5388	6465	7543	8620	9698
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	0,677	1,297	1,897	2,481	3,052	3,610	4,155	4,688	5,210
4	Draft at AP m	0,000	0,677	1,297	1,897	2,481	3,052	3,610	4,155	4,688	5,210
5	Draft at LCF m	0,000	0,677	1,297	1,897	2,481	3,052	3,610	4,155	4,688	5,210
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	0,343	119,2	119,6	119,8	120,1	120,9	123,4	126,0	128,4	128,6
8	Beam max extents on WL m	0,000	16,82	16,95	16,94	16,92	16,92	16,92	16,92	16,92	16,92
9	Wetted Area m ²	0,000	1729,	1930,	2105,	2275,	2445,	2613,	2779,	2943,	3105,
10	Waterpl. Area m ²	0,000	1651,	1730,	1775,	1817,	1862,	1907,	1951,	1994,	2033,
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,799	0,816	0,830	0,842	0,848	0,842	0,835	0,830	0,838
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,774	0,799	0,819	0,833	0,841	0,836	0,830	0,825	0,834
13	Max Sect. area coeff. (Cm)		0,969	0,979	0,986	0,990	0,992	0,994	0,994	0,995	0,995
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,000	0,823	0,853	0,874	0,894	0,910	0,913	0,915	0,918	0,933
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-122,3	-61,85	-62,01	-62,19	-62,44	-62,73	-63,05	-63,39	-63,75	-64,10
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-122,3	-62,06	-62,22	-62,83	-63,50	-64,27	-65,07	-65,85	-66,62	-67,23
17	KB m	-0,020	0,348	0,669	0,978	1,281	1,579	1,871	2,158	2,441	2,720
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	0,000	33,57	18,15	12,50	9,634	7,931	6,788	5,964	5,340	4,864
20	BML m	0,000	1319,	738,3	529,3	425,1	364,9	326,2	299,0	278,7	262,0
21	GMt m	-5,220	28,72	13,61	8,281	5,716	4,310	3,459	2,922	2,582	2,384
22	GML m	-5,220	1314,	733,8	525,1	421,2	361,3	322,9	295,9	276,0	259,6
23	KMt m	-0,020	33,92	18,81	13,48	10,91	9,510	8,659	8,122	7,782	7,584
24	KML m	-0,020	1319,	739,0	530,3	426,4	366,5	328,1	301,1	281,2	264,8
25	Immersion (TPc) tonne/cm	0,000	16,92	17,73	18,19	18,63	19,08	19,55	20,00	20,44	20,84
26	MTc tonne.m	0,000	111,9	125,0	134,1	143,5	153,8	165,0	176,4	188,0	199,0
27	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,000	540,1	512,2	467,2	429,9	405,2	390,2	384,6	388,4	403,5
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

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 $X_1=0,84$;

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;

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ		Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

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:

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

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

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

$$K=1; X_1=0,84 (B/d=17,2/5,2=3,30); X_2=1 (C_b = 0,835)$$

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

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(5,122 - 5,2)}{5,2} = 0,721;$$

$$c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L_{wl}}{100} = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{17,2}{5,2} - 0,043 \cdot \frac{128,68}{100} = 0,394;$$

$$T = 2cB / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,394 \cdot 17,2 / \sqrt{2,462} = 8,788;$$

$$S = 0,0875;$$

Таблиця 2.1.5.1-3 Множник S

Район плавання судна	T, c									
	≤ 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

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,721 \cdot 0,0875} = 22,99^\circ$$

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

$$A_v = \Sigma S_i = 554,91 \text{ м}^2 \text{ площа парусності};$$

$$Z_B = 7,885;$$

$Z_v = Z_B - d/2 = 7,885 - 5,2/2 = 5,285 \text{ м}$ – плече парусності, яке приймається рівним вимірянній по вертикалі відстані від центра площі парусності A_v , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Тиск вітру $P_v=504$ Па, $D=9698$ т – водотоннажність, $g=9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

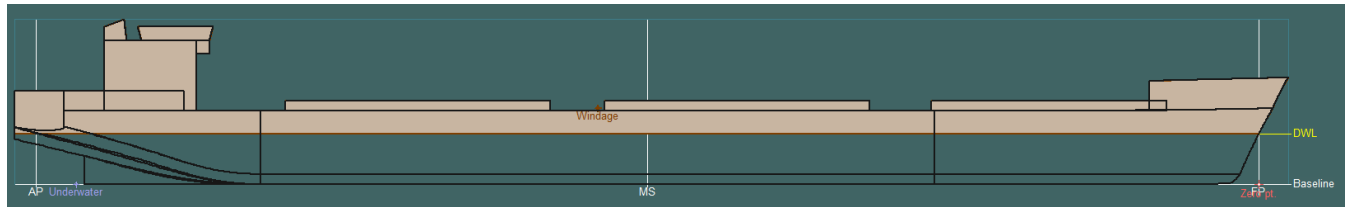


Рис. 2.2.1 – Схема визначення площі парусності

Таблиця 2.2.1 – Розрахунок площі парусності.

№ елементів	Площа S_i , м	Z_i	Момент $S_i Z_i$
1	69,120	11,200	774,144
2	11,100	15,564	172,760
3	1,755	14,125	24,789
4	4,118	15,712	64,702
5	27,400	8,100	221,94
6	27,400	8,100	221,94
7	24,400	8,100	197,64
Сума	554,914	7,885	4375,5

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 554,914 \cdot 5,285}{1000 \cdot 9,81 \cdot 9698} = 0,0155 \text{ м}$$

$$l_{w2} = l_{w1} \cdot 1,5 = 0,0155 \cdot 1,5 = 0,0233 \text{ м}$$

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	-1,080	-0,876	-0,437	0,000	0,436	0,876	1,079	1,077	0,851	0,500	0,084	-0,360	-0,803	-1,221	-1,592
2	Area under GZ curve from zero heel m.ra	0,3275	0,1541	0,0374	0,0000	0,0374	0,1537	0,3278	0,5192	0,6902	0,8094	0,8610	0,8371	0,7356	0,5583	0,3123
3	Displacement t	9698	9698	9698	9698	9698	9698	9698	9698	9698	9697	9698	9698	9698	9698	9698
4	Draft at FP m	5,406	5,189	5,196	5,210	5,197	5,190	5,407	5,838	6,442	7,364	9,105	14,134	n/a	5,471	0,456
5	Draft at AP m	5,406	5,189	5,196	5,210	5,197	5,190	5,407	5,838	6,442	7,364	9,105	14,134	n/a	5,471	0,456
6	WL Length m	128,85	128,71	128,69	128,68	128,69	128,71	128,85	129,13	129,55	131,07	131,64	131,66	131,29	130,40	128,85
7	Beam max extents on WL m	16,351	17,738	17,190	16,929	17,190	17,739	16,351	13,486	12,118	11,153	10,912	10,731	10,645	10,870	11,456
8	Wetted Area m²	3452,8	3272,3	3149,7	3153,9	3207,6	3332,9	3501,1	3549,1	3576,4	3587,9	3600,2	3600,8	3562,9	3596,2	3594,1
9	Waterpl. Area m²	1714,5	1929,2	2049,0	2033,4	2049,0	1929,0	1714,4	1463,2	1253,7	1119,8	1038,6	994,32	981,51	1000,6	1052,2
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,866	0,847	0,840	0,838	0,840	0,847	0,865	0,887	0,896	0,862	0,840	0,824	0,813	0,809	0,809
11	Block coeff. (Cb)	0,525	0,554	0,666	0,834	0,666	0,554	0,525	0,572	0,590	0,608	0,611	0,630	0,663	0,603	0,548
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-64,74	-64,34	-64,17	-64,10	-64,17	-64,33	-64,73	-64,87	-64,87	-64,84	-64,82	-64,81	-64,82	-64,85	-64,91
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-66,03	-66,48	-66,80	-67,23	-66,80	-66,48	-66,03	-64,20	-63,14	-62,71	-62,46	-62,42	-62,54	-62,76	-63,31
14	Max deck inclination deg	30,000	20,000	10,000	0,0000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,00	110,00
15	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

2.2.3. 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 $\theta_{\text{зак}} = 72^\circ > 60^\circ$;
- кут максимуму діаграми $\theta_{\max} = 35,34^\circ > 30^\circ$;
- критерій погоди: $K = \frac{a}{b} = \frac{0,67}{0,24} = 2,791$

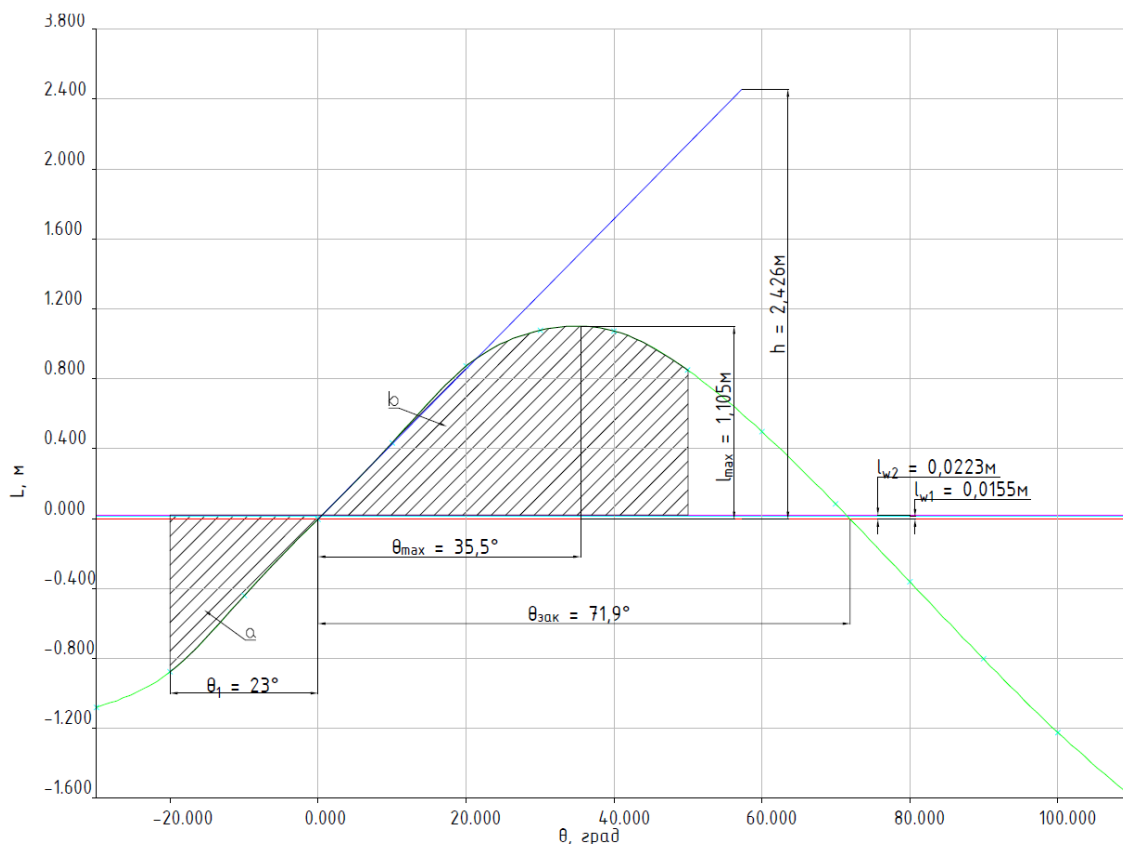


Рис. 2. Діаграма статичної остійності

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 судноплавства України.

Значення	Дані судна	Регістр
K	2,791	$K \geq 1$
$l_{\max}$, м	1,105	$l_{\max} \geq 0,2$
$\theta_{\max}$	35,5	$\theta_{\max} \geq 25^\circ$
$\theta_{\text{зак}}$	71,9	$\theta_{\text{зак}} \geq 60^\circ$
h, м	2,462	$h \geq 0,15$
S_{30}	0,3278 м.рад	$\geq 0,055 \text{ м.рад}$
S_{40}	0,5192 м.рад	$\geq 0,09 \text{ м.рад}$
$S_{40} - S_{30}$	0,1914 м.рад	$\geq 0,03 \text{ м.рад}$

3. Набір корпусу за Правилами Регістра

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу суховантажного судна в узгодженні із «Правилами класифікації та побудови морських суден» Регістра на клас КМ ЛУ2 А1.

3.1. Таблиця головних розмірів судна

Довжина між перпендикулярами (L_{PP})	126,5 м
Ширина (В)	17,2 м
Осадка (Т)	5,2 м
Висота борту (Н)	7,6 м
Коефіцієнт загальної повноти (C_B)	0,835
Коефіцієнт повноти МШ (C_M)	0,990
Коефіцієнт повноти ВЛ (C_W)	0,902
Швидкість ходу експлуатаційна	11,2 вуз.

3.2. Архітектурно-конструктивний тип судна

Проектоване судно є суховантажним, однопалубним, з кормовим розташуванням машинного відділення і житлової надбудови, із транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, поперечні водонепроникні перебірки.

3.3. Вибір системи набору перекритть корпусу судна

Система набору корпусу судна поздовжня. Днищеві і палубні перекриття набираються за поздовжньою системою набору, а бортове перекриття – за поперечною системою. Кінцеві частини корпусу судна та машинне відділення набираються за поперечною системою набору, яка дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря.

3.4 Вибір марки і категорії сталі

Для виготовлення судового корпусу використовуються суднобудівні сталі нормальної міцності категорій А, В, D, E, F з границею плинності $R_{eH} = 235$ МПа і сталі підвищеної міцності категорій А, D, E, F з границею плинності $R_{eH} > 235$ МПа.

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 дипломного проекту обрано марку сталі 09Г2С із наступними характеристиками:

Назва сталі	09Г2С
R_{eH} , МПа	315
Коефіцієнт використання механічних властивостей η	0,78
Нижня границя температури, °С	-60
Відносне подовження, %	18
Приблизна вартість 1 т, %	110

3.5 Вибір шпаций

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою

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

де L – довжина між перпендикулярами, м;

$$a_0 = 0,002 \cdot 126,5 + 0,48 = 0,733 \text{ м.}$$

Правила дозволяють відхилення взятої шпациї від нормальної в межах $\pm 25\%$.

Розраховану величину шпациї необхідно округлити: взяти рівною величині стандартної шпациї згідно з ОСТ 5.1099-78.

Приймаємо поперечну шпацию $a_{\text{попер}} = 750 \text{ мм.}$

Приймаємо поздовжню шпацию $a_{\text{позд}} = 700 \text{ мм.}$

3.6. Креслення обводів мідель-шпангоута

Радіус заокруглення скули визначають за формулою $R = \sqrt{\frac{Bt}{0,86}}$, де t – підйом лінії днища.

Висота другого днища розраховується за формулою $h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04B + 3,5 \frac{d}{L}$ і повинна бути не менше 0,65 м.

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04B + 3,5 \frac{d}{L} = \frac{126,5 - 40}{570} + 0,04 \cdot 17,2 + 3,5 \frac{5,2}{126,5} = 0,984 \text{ м}$$

Приймаємо $h_{II} = 1 \text{ м}$ і $R = h_{II}$.

Набір другого днища і днища буде поздовжнім. Приймаємо 11 шпаций по 0,7 м і 2 шпациї по 0,45 м.

Розставляємо стрингери. Так як відстань між стрингерами не повинна перевищувати 5 м, тому розміщуємо 2 стрингери на відстані через кожні 5 шпаций – 3,5 м.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вираховуємо кількість контейнерів. Контейнер TEU має розміри 2,44х2,44 м.

6,6 – м висота вантажного трюма.

$6,6:2,5 = 2,64$ контейнера.

Отже, у трюмі можна розмістити 2 контейнера. 3-ій контейнер можна розмістити в просвіті люка.

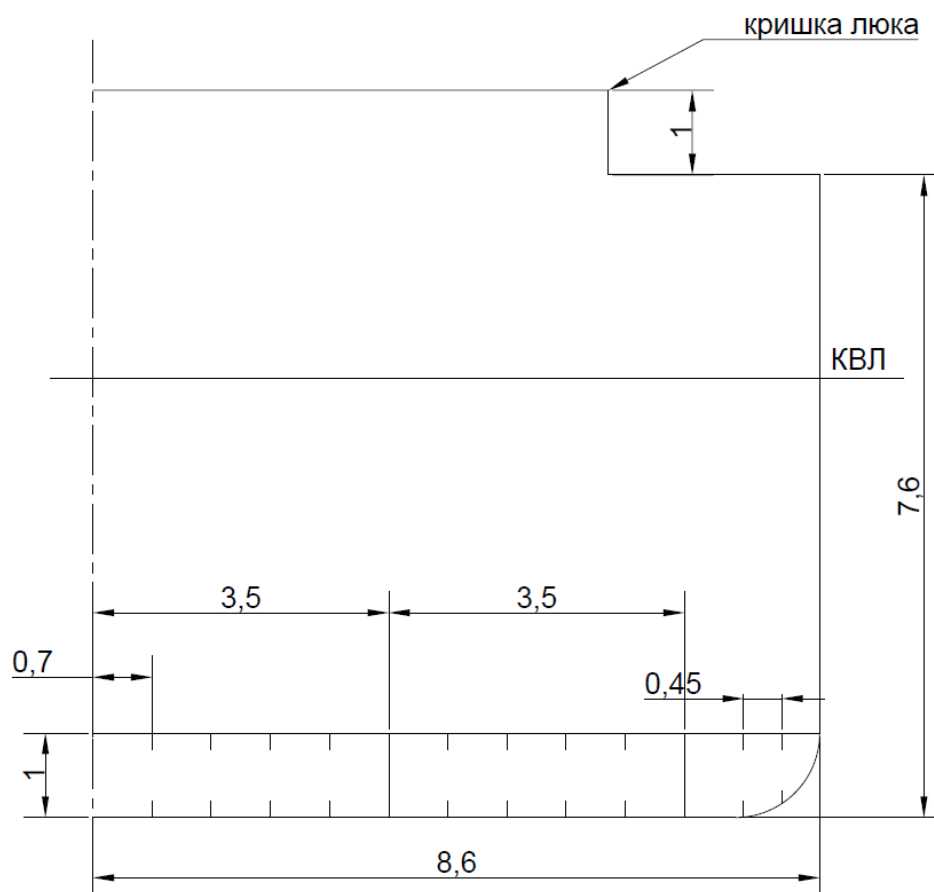


Рис. 3.5.1. Обводи мідель-шпангоута.

3.7 Поділ на листи

Ширину горизонтального кіля обчислюємо за формулою:

$$b_{\text{ек}} = 800 + 5L = 800 + 5 \cdot 126,5 = 1432,5 \text{ мм}$$

Через те що мінімальна відстань між пазами листів і лініями зварювання поздовжніх балок повинна бути більше ніж 75 мм, приймаємо горизонтальний кіль 1600 мм.

Скуловий лист. $c = \frac{\pi D}{4} = \frac{3,14 \cdot 2}{4} = 1,57 \text{ м}$. Довжина скулового листа = 1,57 м + 0,4 м = 1,97 м.

Листи обшивки днища. Приймаємо 3 листа шириною по 2,2 метри.

Листи настилу другого дна. Приймаємо 2 листа шириною по 3,2 м і 1 лист 2,2 м.

Листи бортової обшивки. Ширстрек повинен бути не менше $0,1D = 0,76 \text{ м}$. Приймаємо ширину ширстрека 1 м. Приймаємо 2 листа шириною по 2 м, 1 лист по 1,4 м.

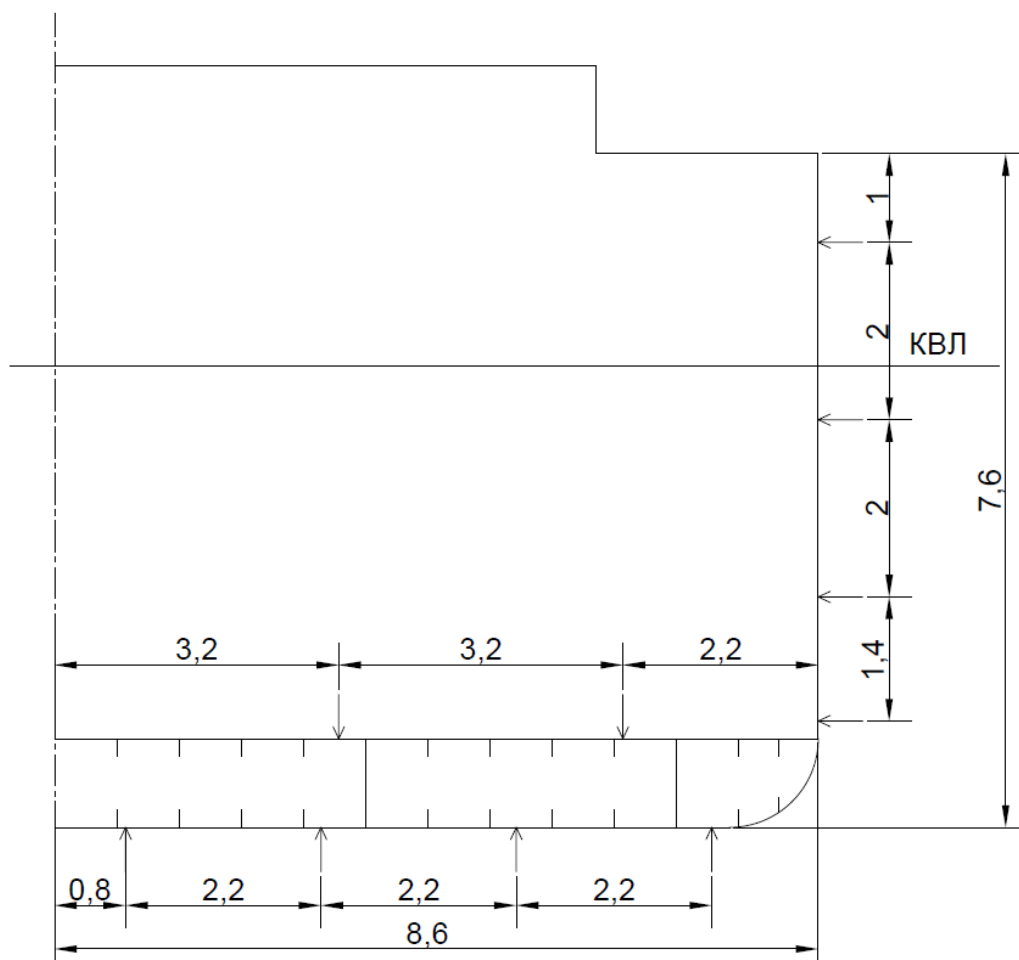


Рис. 3.6.1. Поділ обшивки на листи.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.8. 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. 1.1; T – період служби конструкції, роки, ($T = 24$ роки); якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$.

Таблиця 3.7.1

№ пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	U , мм/рік	ΔS , мм
1.1	Настил верхньої палуби	0,10	1,2
1.2	Настил нижніх палуб і платформ	0,11	1,32
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0,17	2,04
3.1.4	Зовнішня обшивка дна	0,20	2,4
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,15	1,8
4.1.4	Настил другого дна у машинному відділені	0,20	2,4
4.2.4	Міждонний лист	0,20	2,4
5.1.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,13	1,56
6.1	Поздовжні балки палуби, бімси, рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,12	1,44
7.1	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	0,10	1,2
8.2	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	0,20	2,4
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,1	1,2

3.9. Розрахункові навантаження

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,

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

– для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

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

$$P_{wo} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x,$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 10,75 - \left(\frac{300 - 126,5}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 8,465$$

$$a_v = \frac{0,8 \cdot V \cdot (L \cdot 10^{-3} + 0,4)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 11,2 \cdot (126,5 \cdot 10^{-3} + 0,4)}{\sqrt{126,5}} + 1,5 = 1,92;$$

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267;$$

$V = 11,2$ – специфікаційна швидкість судна, вузли;

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$x_1 = 0,3L = 37,95$ м – відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього (носового чи кормового) перпендикуляра;

$$a_x = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{37,95}{126,5}\right) = 0,32$$

Так як a_x повинно бути більше, ніж 0,267, приймаємо $a_x = 0,32$.

$$a_v \cdot a_x = 1,92 \cdot 0,32 = 0,614;$$

В будь-якому випадку результат множення $a_v \cdot a_x$ повинен прийматись не менше 0,6, тому приймаємо $a_v \cdot a_x = 0,614$.

$$P_{w0} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x = 5 \cdot 8,465 \cdot 0,614 = 25,98 \text{ кПа};$$

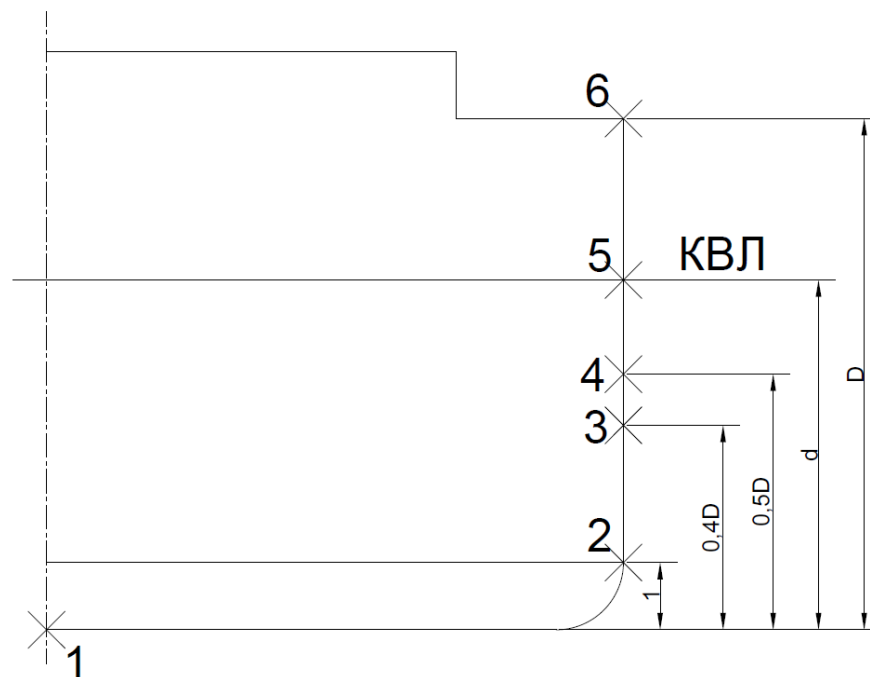


Рис. 3.8.1. Визначення точок для розрахунку навантажень

Для точки 1: $z_i = 5,2$ м.

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 25,98 - 1,5 \cdot \frac{8,465 \cdot 5,2}{5,2} = 13,28 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 5,2 = 52 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 13,28 + 52 = 65,28 \text{ кПа}$$

$$P_{min} = 0,03 \cdot L + 5 = 0,03 \cdot 126,5 + 5 = 8,795 \text{ кПа}$$

$$P_w > P_{min}$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для точки 2: $z_i = 4,2$ м.

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 25,98 - 1,5 \cdot \frac{8,465 \cdot 4,2}{5,2} = 15,72 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 4,2 = 42 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 15,72 + 42 = 57,72 \text{ кПа}$$

$$P_w > P_{\min}$$

Для точки 3: $z_i = 2,16$ м.

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 25,98 - 1,5 \cdot \frac{8,465 \cdot 2,16}{5,2} = 20,71 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 2,16 = 21,6 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 20,71 + 21,6 = 42,31 \text{ кПа}$$

$$P_w > P_{\min}$$

Для точки 4: $z_i = 1,4$ м.

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 25,98 - 1,5 \cdot \frac{8,465 \cdot 1,4}{5,2} = 22,56 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 1,4 = 14 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 22,56 + 14 = 36,56 \text{ кПа}$$

$$P_w > P_{\min}$$

Для точки 5: $z_i = 0$ м.

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 25,98 - 1,5 \cdot \frac{8,465 \cdot 0}{5,2} = 25,98 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 0 = 0 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 25,98 + 0 = 25,98 \text{ кПа}$$

$$P_w > P_{\min}$$

Для точки 6: $z_i = 2,4$ м.

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 25,98 - 7,5 \cdot 0,32 \cdot 2,4 = 20,22 \text{ кПа}$$

Таблиця 3.8.1 – Визначення розрахункового тиску.

№ точки	Відстань до точки z_i , м	Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Розрахунковий тиск P , кПа
1	5,2	52	13,28	65,28
2	4,2	42	15,72	57,72
3	2,16	21,6	20,71	42,31
4	1,4	14	22,56	36,56
5	0	0	25,98	25,98
6	2,4	0	20,22	20,22

3.10. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на друге дно від контейнерів визначається за формулою:

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

де $P_k = 14$ – вага одного контейнера, т; $N = 3$ – кількість ярусів контейнерів в трюмі, од.; $S_k = 2,44 \cdot 6,1 = 14,884$ – 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:

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

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

$$a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L}\right)^{\frac{1}{3}} g = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{126,5}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,814$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k}\right)^2 \cdot \psi \cdot x_0$$

$$a_{\sigma z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\sigma}}\right)^2 \cdot \theta \cdot y_0$$

$$T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{V_0}{L} \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4\right)} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{126,5}}{1 + 0,4 \cdot \frac{11,2}{126,5} \cdot \left(\frac{126,5}{10^3} + 0,4\right)} = 8,83 \text{ с;}$$

$$T_{\sigma} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 17,2}{\sqrt{1,204}} = 12,54 \text{ с;}$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 126,5 \cdot 10^{-2}} = 0,1015 \text{ рад;}$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 126,5 \cdot 10^{-2}} = 0,3675 \text{ рад;}$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2\pi}{8,83} \right)^2 \cdot 0,1015 \cdot 25,3 = 1,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2\pi}{12,54} \right)^2 \cdot 0,3675 \cdot 8,6 = 0,79 \text{ м/с}^2$$

Таким чином, $a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,814^2 + 1,3^2 + 0,4 \cdot 0,793^2} = 2,28 \text{ м/с}^2$

$$P_{\epsilon} = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) = \frac{14 \cdot 3}{14,884} \cdot 9,81 \cdot \left(1 + \frac{2,28}{9,81} \right) = 34,11 \text{ кПа}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{\text{дун}} = 0,75 \cdot g \cdot (Z_i + 1,5) = 0,75 \cdot 9,81 \cdot (6,6 + 1,5) = 59,595 \text{ кПа};$$

де $Z_i = D - h_k = 7,6 - 1 = 6,6 \text{ м};$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.11. Загальна поздовжня міцність судна

Для розрахунку загальної поздовжньої міцності корпусу судна необхідно визначити згинальні моменти M_{sw} і перерізувальні сили N_{sw} на тихій воді для основних випадків навантаження судна по стандартних програмах, причому розрахунковий згинальний момент M_{sw} , кНм, на тихій воді, який одержаний інтегруванням кривої навантаження судна, повинен бути не менше

$$M_{sw} = \pm 76 C_2 B L^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3},$$

де згинальні моменти, які викликають перегин корпусу судна, вважаються додатними, а прогин – від'ємними.

$$M_{sw} = \pm 76 \cdot 8,465 \cdot 17,2 \cdot 126,5^2 (0,835 + 0,7) \cdot 10^{-3} = \pm 2,718 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

Хвильовий згинальний момент M_w , кНм, який викликає перегин корпусу судна, визначається по формулі

$$M_w = 190 C_w B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 8,465 \cdot 17,2 \cdot 126,5^2 \cdot 0,835 \cdot 10^{-3} = 3,696 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

Хвильовий згинальний момент, M_w , кНм, який викликає прогин корпусу судна, визначається по формулі

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

де C_w – хвильовий коефіцієнт згідно; C_b – коефіцієнт загальної повноти судна ($C_b \geq 0,6$).

$$M_w = -110 \cdot 8,465 \cdot 17,2 \cdot 126,5^2 (0,835 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -3,934 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

Момент опору W , см³, поперечного перерізу корпусу судна (для палуби і днища) в середній частині судна повинен бути не менше

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

де $M_T = |M_{sw} + M_w|$ – розрахунковий згинальний момент, кНм, в розглядуваному перерізі судна, який дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових моментів M_{sw} і M_w ; $\sigma = \frac{175}{\eta}$ – допустимі напруження, МПа; η – коефіцієнт.

При прогині:

$$M_{T1} = |M_{sw} + M_w| = |2,718 \cdot 10^5 + 3,934 \cdot 10^5| = 6,652 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При перегині:

$$M_{T2} = |M_{sw} + M_w| = |2,718 \cdot 10^5 + 3,696 \cdot 10^5| = 6,414 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

$$W = \frac{M_{T1}}{\sigma} \cdot 10^3 = \frac{6,652 \cdot 10^5}{224,36} \cdot 10^{-3} = 2,964 \text{ м}^3$$

В будь-яких випадках момент опору W , см^3 , поперечного перерізу корпусу в середній частині судна (для палуби і днища), повинен бути не менше

$$W_{\min} = C_w B L^2 (C_b + 0,7) \eta = 8,465 \cdot 17,2 \cdot 126,5^2 (0,835 + 0,7) \cdot 0,78 = 2,789 \cdot 10^6 \text{ см}^3$$

Момент інерції поперечного перерізу корпусу I , см^4 , в середній частині судна повинен бути не менше

$$I = 3C_w B L^3 (C_b + 0,7) = 3 \cdot 8,465 \cdot 17,2 \cdot 126,5^3 (0,835 + 0,7) = 1,357 \cdot 10^9 \text{ см}^4$$

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

Розрахунковий момент інерції корпусу судна:

$$I^* = W_d \cdot (D - e) = 2,964 \cdot (7,6 - 3,16) = 13,16 \text{ м}^4$$

e – відстань нейтральної вісі від основної площини;

$$e = (0,34 + 0,06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D = (0,34 + 0,06 \cdot 126,5 \cdot 10^{-2}) \cdot 7,6 = 3,16 \text{ м}$$

Одержані величини $W = 2,789 \text{ м}^3$ і $I = 13,6 \text{ м}^4$ використовуються для порівняння з геометричними характеристиками еквівалентного бруса, які розраховані для міделевого перерізу корпусу судна.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.12 Проектування елементів конструкцій корпусу судна за правилами реєстру

3.12.1 Проектування листових конструкцій

Зовнішня обшивка складається з обшивки борту і дна. Проектування зовнішньої обшивки починається з розподілу на пояси обрису поперечного перерізу корпусу судна.

Ширина горизонтального кіля b_k , мм, визначається по формулі $b_k = 800 + 5L \leq 2000$ мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більше товщини зовнішньої обшивки дна. Ширина скулового поясу визначається положенням верхньої і нижньої кромки поясу. Нижня кромка відповідає точці поєднання плоскої частини обшивки дна з криволінійною. Верхня кромка в розрахунках приймається вище внутрішнього дна на 200 мм. Товщина скулового поясу приймається рівною товщині обшивки дна, або товщині надскулового поясу, в залежності від того, що більше. Ширина ширстрека приймається рівною ширині горизонтального кіля, а товщина його визначається рівною товщині палубного стрингера, або підширстречного поясу борта, в залежності від того, що більше. Ширина інших поясів приймається якомога більша, щоб зменшити обсяг зварювальних робіт, але не більша за технічні можливості суднобудівного заводу. Пази зовнішньої обшивки не повинні співпадати з лініями притикання до зовнішньої обшивки будь-яких поздовжніх в'язів.

Товщина зовнішньої обшивки S , мм, за умовами міцності визначається по формулі.

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

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;

$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{b} \leq 1,0$; 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 – наведено в табл.4.1.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.12.1.1

Обшивка дна	$k_{\sigma} = 0,3 k_B \leq 0,6$	Поперечна система набору
	$k_{\sigma} = 0,6$	Поздовжня система набору
Обшивка борту	$k_{\sigma} = 0,6$	$(0,4 - 0,5)D$ від основної
	$k_{\sigma} = 0,3 k_D \leq 0,6$	На рівні ВП

Коефіцієнти k_B і k_D приймаємо рівними одиниці.

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки з умов міцності наведено в табл. 3.12.1.2.

Таблиця 3.12.1.2.

Розрахункові величини та позначення	Обшивка дна	Надскуловий пояс обшивки борту	Обшивка борту на рівні вантажної ватерлінії	Обшивка борту на рівні верхньої палуби
	Розрахункові точки			
	1	2	3	4
Менший розмір пластини a , м	0,7	0,75	0,75	0,75
Більший розмір пластини	2,25	6,6	6,6	6,6
Відношення a/b	0,311	0,114	0,114	0,114
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5 \times a/b$	1	1	1	1
Розрахунковий тиск	65,28	57,72	25,98	20,22
Коефіцієнт k_{σ}	0,6	0,6	0,6	0,3
$S' = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}}$	6,65	6,7	4,5	4
Додаток товщини ΔS	2,4	2,04	2,04	2,04
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$	9,05	8,74	6,54	6,04

Розрахуємо стискаючі напруження:

для верхньої палуби:

$$\sigma_{сВП} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^{-3}, \text{ МПа}$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$|M_{sw} + M_w| = M_p = 6,652 \cdot 10^5 \text{ кНм}$$

$$I^* = 13,6 \text{ м}^4$$

z_i – відстань точки, що розглядається від нейтральної осі;

$$z_i = 4,44 \text{ м};$$

$$\sigma_{сВП} = \frac{6,652 \cdot 10^5}{13,6} \cdot 4,44 \cdot 10^{-3} = 217,16 \text{ МПа};$$

для ширстречного поясу приймаємо величину $\sigma_c = 217,16 \text{ МПа}$.

для підширстречного поясу

$$z_i = 3,44 \text{ м};$$

$$\sigma_{сВП} = \frac{6,652 \cdot 10^5}{13,6} \cdot 3,44 \cdot 10^{-3} = 168,25 \text{ МПа};$$

для другого дна

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

$$z_i = -2,16 \text{ м};$$

$$\sigma_{с2дно} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^{-3} = \frac{6,414 \cdot 10^5}{13,6} \cdot (-2,16) \cdot 10^{-3} = -101,86 \text{ МПа};$$

для днища

$$z_i = -3,16 \text{ м};$$

$$\sigma_{с2дно} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^{-3} = \frac{6,414 \cdot 10^5}{13,6} \cdot (-3,16) \cdot 10^{-3} = -149,03 \text{ МПа};$$

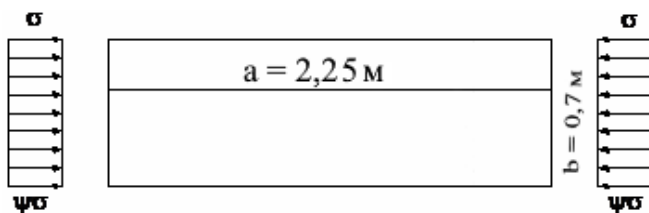
Ейлерове напруження:

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

$$\text{при } \sigma_{cr} / R_{eH} > 0.5 \quad \sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}$$

Вибір коефіцієнтів ψ та n :

для днища: так як $\gamma = a/b > 1$, то приймаємо $\psi = 1$;



$$n = \frac{8.4}{\psi + 1.1} = \frac{8.4}{1 + 1.1} = 4;$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для ширстрека

$$\sigma_{ship} = \frac{6,652 \cdot 10^5}{13,6} \cdot 3,94 \cdot 10^{-3} = 192,71 \text{ МПа};$$

так як $\gamma = a/b \leq 1$, то

$$\psi = \frac{192,71}{217,16} = 0,887; \quad n = 1,21 \left[10 \cdot 0,887^2 - 14 \cdot 0,887 + 1,9 \cdot (1 + 0,887) \cdot \left(0,114 + \frac{1}{0,114} \right)^2 \right] = 337;$$

Розраховуємо товщину:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 6,6 \cdot \sqrt{\frac{217,16}{0,1854 \cdot 337}} = 12,3 \text{ мм}$$

Надскуловий пояс

$$\psi = \frac{59,42}{101,86} = 0,583; \quad n = 1,21 \left[10 \cdot 0,583^2 - 14 \cdot 0,583 + 1,9 \cdot (1 + 0,583) \cdot \left(0,114 + \frac{1}{0,114} \right)^2 \right] = 281,6;$$

Розраховуємо товщину:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 6,6 \cdot \sqrt{\frac{101,86}{0,1854 \cdot 281,6}} = 9,21 \text{ мм}$$

Підширстречний пояс

$$\psi = \frac{119,34}{168,25} = 0,709; \quad n = 1,21 \left[10 \cdot 0,709^2 - 14 \cdot 0,709 + 1,9 \cdot (1 + 0,709) \cdot \left(0,114 + \frac{1}{0,114} \right)^2 \right] = 304,3;$$

Розраховуємо товщину:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 6,6 \cdot \sqrt{\frac{168,25}{0,1854 \cdot 304,3}} = 11,42 \text{ мм}$$

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна	Надскуловий пояс	Ширстрек	Підширстречний пояс
M_{sw} , кНм	$2,718 \cdot 10^5$	$2,718 \cdot 10^5$	$-2,718 \cdot 10^5$	$-2,718 \cdot 10^5$
M_w , кНм	$3,696 \cdot 10^5$	$3,696 \cdot 10^5$	$-3,934 \cdot 10^5$	$-3,934 \cdot 10^5$
Розрахунковий момент M_T , кНм	$6,414 \cdot 10^5$	$6,414 \cdot 10^5$	$6,652 \cdot 10^5$	$6,652 \cdot 10^5$
z_i , м	3,16	1,26	3,94	3,44
σ_c , МПа	149,03	101,86	192,71	168,25
$\sigma_{cr} = k\sigma_c$, МПа	149,03	101,86	192,71	168,25
σ_{cr}/R_{eH}	0,47	0,32	0,61	0,53
σ_e , МПа	149,03	101,86	202,84	169,03
a , м	2,25	0,75	0,75	0,75
b , м	0,7	6,6	6,6	6,6
$\gamma = a/b$	3,214	0,114	0,114	0,114
Ψ	1	0,583	0,887	0,709
n	4	281,6	337	304,3
$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}}$, мм	9,92	9,21	12,3	11,42
ΔS , мм	2,4	0	0	0
$S = S' + \Delta S$, мм	12,32	9,21	12,3	11,42

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від визначеної за формулою: $S_{min} = (5,5 + 0,04L) \cdot \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 126,5) \cdot \sqrt{0,78} = 9,33 \text{ мм};$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3.12.2. Проектування настилу верхньої палуби

Верхня палуба судна має одинарні люки понтонового типу, ширина яких $b_{\text{л}} = 12,2$ 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.

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менша від $S_{\text{min}} = (7 + 0,02L) \cdot \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 126,5) \cdot \sqrt{0,78} = 8,42$ мм;

Взято товщину верхньої палуби 13 мм для забезпечення міцності судна.

3.12.3. Проектування настилу внутрішнього дна

Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою:

$$S_{\text{min}} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 126,5) \cdot \sqrt{0,78} = 8,33 \text{ мм};$$

Таблиця 3.12.3.2. Таблиця прийнятих товщин.

Назва листової конструкції	Товщина			Прийнято
Умовне означення її товщини	Міцність	Стійкість	Мінімальна товщина	
Обшивка днища $S_{\text{д}}$, мм	9,05	12,32	9,33	15
Горизонтальний кіль $S_{\text{к}}$, мм	-	-	9,33	17
Скуловий пояс $S_{\text{ск}}$, мм	-	-	9,33	15
Надскуловий пояс $S_{\text{нск}}$, мм	8,3	9,21	9,33	10
Обшивка борта на рівні ВВЛ $S_{\text{бввл}}$, мм	6,24	-	9,33	10
Підширстречний пояс $S_{\text{пш}}$, мм	5,74	11,42	9,33	12
Ширстрек $S_{\text{ш}}$, мм	5,74	12,3	9,33	13
Настил верхньої палуби $S_{\text{вп}}$, мм	4,5	12,94	8,42	14
Настил внутрішнього дна $S_{\text{вд}}$, мм	9,75	10,2	8,33	12
Настил II дна під люком $S_{\text{вдл}}$, мм	9,75	10,2	8,33	12

3.12.4. Проектування конструкцій набору подвійного дна

Набір подвійного дна розташований між настилом внутрішнього дна і зовнішньою обшивкою.

Основний набір – це поздовжні балки днища і внутрішнього дна, які розташовані через шпацию 0,7 м та 0,45 м. Суцільні флори розташовані через 3 шпациї. Під поперечними перегородками розміщуються водонепроникні флори.

У діаметральній площині знаходиться вертикальний кіль. Відстань між вертикальним кілем і днищевим стрингером складає 3,5 м.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.12.5 Проектування конструкцій флорів

Суцільний флор має таку висоту у діаметральній площині, як і вертикальний кіль $h = 1$ м.

Мінімальна будівельна товщина суцільного флора:

$$S_{\min} = 0,035L + 6 = 0,035 \cdot 126,5 + 6 = 10,42 \text{ мм};$$

Прийнято $S_{\text{фл}} = 11$ мм.

Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флору. Приймаю $S = 11$ мм.

Водонепроникний флор підкріплюється ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна і внутрішнього дна.

По сортаменту приймаю полособульб несиметричний 14б ($h = 140$ мм, $S_{\text{ст}} = 9$ мм, $b_6 = 35$ мм, $W = 107,7$ см³; $F = 16,85$ см²).

3.12.6 Проектування конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів

Висота вертикального кіля повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$h = \frac{L - 40}{570} + 40 \cdot B + 3500 \cdot \frac{d}{L} \geq 650 \text{ мм};$$
$$h = \frac{126,5 - 40}{570} + 40 \cdot 17,2 + 3500 \cdot \frac{5,2}{126,5} = 984 \text{ мм};$$

Висота ВК $h = 1$ м.

Приймаю $S_{\text{ВК}} = 12$ мм. Посередині висоти вертикального кіля розміщуємо ребро жорсткості.

Товщина днищєвого стрингєра повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора і не менше ніж:

$$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 126,5 + 6 = 10,43 \text{ мм};$$

Приймаю $S_{\text{д.с.}} = 11$ мм.

В якості ребер жорсткості вертикального кіля приймаю профіль полособульб несиметричний 14б ($h = 140$ мм, $S_{\text{ст}} = 9$ мм, $b_6 = 35$ мм, $W = 107,7$ см³; $F = 16,85$ см²).

3.12.7 Проектування балок основного набору подвійного дна

Для балок днища і подвійного дна приймаю профіль полособульб несиметричний 18а ($h = 180$ мм, $S_{\text{ст}} = 9$ мм, $b_6 = 40$ мм, $W = 184,3$ см³; $F = 22,18$ см²).

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.12.8. Проектування конструкцій набору борту

3.12.8.1 Визначення товщини листів зовнішньої обшивки борту

Товщину листів, що знаходяться між надскуловим і підширстречним поясами приймаємо рівною $S = 12$ мм.

3.12.8.2 Визначення профілю шпангоута борту

За сортаментом (ГОСТ 9235–76) обираю тавровий профіль Т2468 ($h=240$ мм; $S=8,5$ мм; $b=71$ мм; $f=33,17$ см²; $W=442$ см³).

3.12.9 Проєктування поздовжніх балок палуби

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 126,5 + 5,5 = 8,66 \text{ mm};$$

В якості поздовжніх підпалубних балок приймаю профіль полособульб несиметричний 14б ($h = 140$ мм, $S_{ct} = 9$ мм, $b_0 = 35$ мм, $W = 107,7$ см³; $F = 16,85$ см²).

3.12.10 Проєктування рамних бімсів

В якості рамних б'імсів приймаю профіль тавр зварний 40а ($h = 400$ мм, $S_{ct} = 10$ мм, $b_6 = 180$ мм, $t_{\Pi} = 14$ мм, $W = 1430,0$ см³; $F = 65,2$ см²).

3.13 Розрахунок еквівалентного бруса

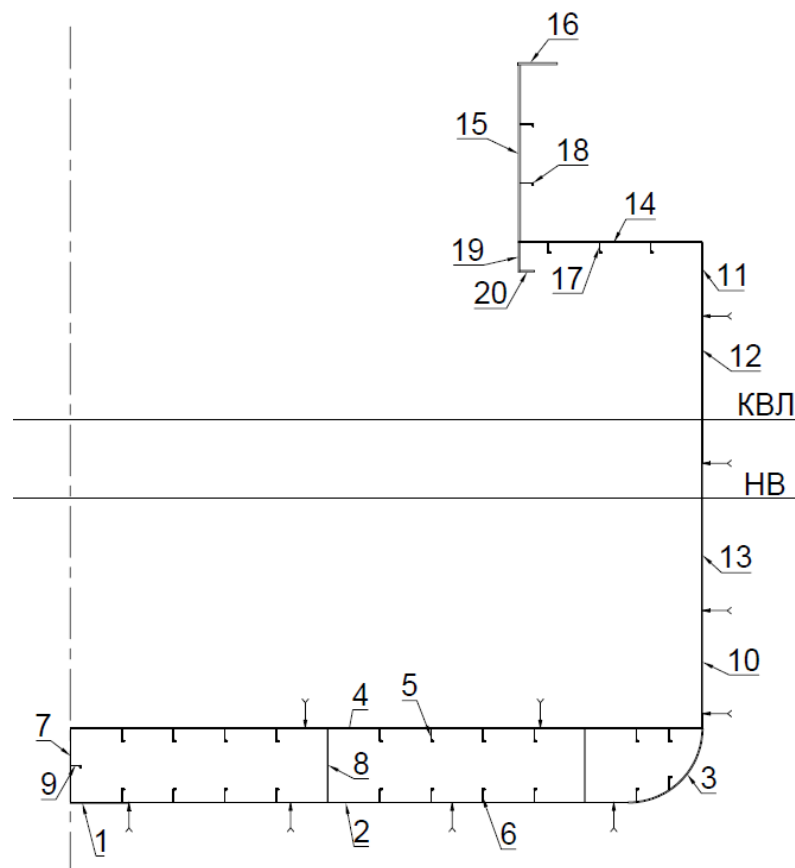


Рис. 3.13.1 – Схема еквівалентного бруса

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виконується в табличній формі. У розрахунку порівняльна вісь знаходиться на ОП судна.

№	Найменування та розмір в'язі	$F_i, \text{см}^2$	$Z_i, \text{м}$	$\text{Fix}Z_i, \text{см}^2 \cdot \text{м}$	$(\text{Fix}Z_i)^2, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	$I_i, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	$Z_i - e, \text{м}$	$\sigma_{\text{вв}}$	$\sigma_{\text{пв}}$	$\text{Fix}(Z_i - e), \text{см}^2 \cdot \text{м}$
1	Горизонтальний кіль 17х800	136	0	0	0	0	-2,366	-235,02	262,986	-321,77
2	Лист днищевої обшивки 15х6600	990	0	0	0	0	-2,366	-235,02	262,986	-2342,3
3	Скуловий лист 15х1570	235,5	0,293	68,97	20,20	21,6	-2,073	-205,93	230,430	-488,21
4	Лист настилу другого дна 12х8600	1032	1	1032	1032	0	-1,366	-135,69	151,834	-1409,7
5	Поздовжні балки днища (х10) Р18а	221,8	0,0865	19,18	1,660	0,837	-2,279	-226,43	253,372	-505,59
6	Поздовжні балки другого дна (х10) Р18а	221,8	0,913	202,5	184,88	0,837	-1,453	-144,33	161,504	-322,27
7	Вертикальний кіль 6х1000	60	0,5	30	15	5	-1,866	-185,36	207,410	-111,96
8	Днищеві стрінгери (х2) 11х1000	220	0,5	110	55	9,167	-1,866	-185,36	207,410	-410,52
9	Ребро жорсткості вертикального кіля Р14б	16,85	0,5	8,425	4,213	0,0321	-1,866	-185,36	207,410	-31,442
10	Надскуловий пояс 10х1400	140	1,9	266	505,4	22,867	-0,466	-46,291	51,7979	-65,241
11	Ширстрек 40х1000	400	7,1	2840	20164	33,333	2,974	109,256	-113,31	1189,622
12	Підширстречний пояс 40х2000	800	5,6	4480	25088	266,667	1,474	54,152	-56,161	1179,244
13	Обшивка борта 12х2000	240	3,6	864	3110,4	80	-0,526	-19,321	20,038	-126,227
14	Настил верхньої палуби 40х2500	1000	7,6	7600	57760	0	3,474	127,625	-132,36	3474,055
15	Стінка комінгсу 40х2400	960	8,35	8016	66933,6	460,8	4,224	155,177	-160,93	4055,093
16	Поясок комінгсу 40х500	200	9,1	1820	16562	0	4,974	182,730	-189,51	994,811
17	Поздовжні балки ВП (х3) Р14б	50,55	7,54	380,64	2866,23	0,0963	5,164	512,963	-573,98	261,039
18	Поздовжні балки комінгса (х2) Р20б	62,8	8,8	552,64	4863,23	0,253	4,674	171,709	-178,08	293,531
19	Стінка карлінгсу	28	400	112	7,4	828,8	6133,12	1,493	3,274	120,277
20	Поясок карлінгсу	28	200	56	7,2	403,2	2903,04	0	3,074	112,930
Сума		7155,3		29522,3735	208201,9838	902,9820667				

Відстань центру ваги еквівалентного бруса від вісі порівняння:

$$e = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{29522,37}{7155,3} = 4,125_{\text{M}};$$

Момент інерції еквівалентного бруса відносно нейтральної вісі:

$$I = 2 \cdot \left[\left(\sum_3 + \sum_4 \right) - e^2 \cdot \sum_1 \right] = 2 \cdot \left[(208201,983 + 902,982) - 4,125^2 \cdot 7155,3 \right] = 17,459 \text{ m}^4;$$

Момент опору днища:

$$W_{\text{днища}} = \frac{I}{e} = \frac{17,459}{4,125} = 4,231 \text{ м}^3;$$

Момент опору палуби:

$$W_{\text{нагрузки}} = \frac{I}{D + h_{\text{компр}} - e} = \frac{17,459}{7,6 + 2,4 - 4,125} = 2,972 \text{ М}^3;$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і днища порівняємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру: $W_{номп.} = 2,964 \text{ м}^3$; $I_{номп.} = 13,6 \text{ м}^4$;

Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо

$$W_{\text{дница}} \geq W_{\text{регистр}}; W_{\text{палуби}} \geq W_{\text{регистр}}; I \geq I_{\text{регистр}};$$

$$W_{\text{днища}} = 4,231 \text{ м}^3 > W_{\text{резистр}} = 2,964 \text{ м}^3; \quad W_{\text{напюли}} = 2,972 \text{ м}^3 > W_{\text{резистр}} = 2,964 \text{ м}^3;$$

$$I = 17,459 \text{ M}^4 > I_{\text{peziomp}} = 13,6 \text{ M}^4;$$

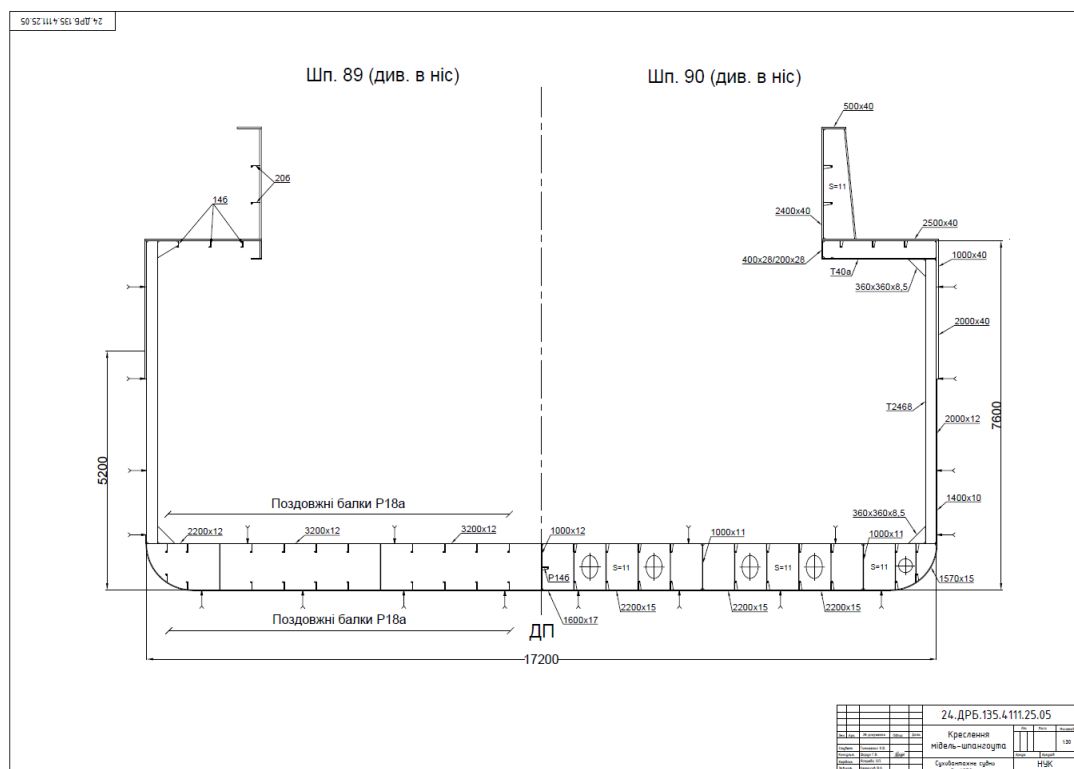


Рис. 3.13.1 – Конструктивний мідель-шпангоут

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

4. Перевірка міцності пластини днища

Перевірка міцності на згин пластини зовнішньої обшивки днища на проміжку $0,25L$ від носа проводиться відповідно до вимог Норм міцності морських суден.

Вихідні дані:

$L_{\perp\perp}$	126,5 м
B	17,2 м
D	7,6 м
d	5,2 м
v_0	11,2 вуз.
C_B	0,835

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: $b = 700$ мм; $a = 3 \cdot 750 = 2250$ мм. Звідси: $\gamma = 2250/700 = 3,214$.

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.

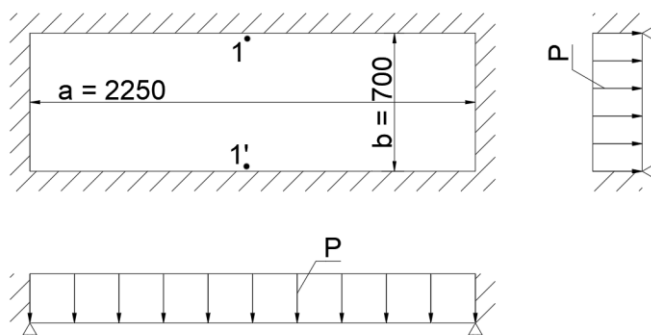


Рис. 4.1. Розрахункова схема

4.2. Розрахункове навантаження

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

$$p = p_{cm} + p_{e0} = 52,28 + 40,42 = 92,7 \text{ кПа},$$

де p_{cm} – розрахунковий статичний тиск води, а p_{e0} – тиск, що зумовлений хитавицею на хвилюванні:

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

$$p_{e0} = \rho g \frac{h_1}{2} a_v a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{8,04}{2} \cdot 1,6 \cdot 0,625 = 40,42 \text{ кПа},$$

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

$$h_1 = k_c \cdot C_w = 0,95 \cdot 8,46 = 8,04 \text{ м};$$

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1,05 - \frac{2425}{126,5^2 + 8530} = 0,95 \leq 1;$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 126,5}{100} \right)^{3/2} = 8,46 \leq 10,75;$$

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

$$a_v = 0,8 \cdot \frac{v_0}{\sqrt{L}} \cdot \left(\frac{L}{10^3 + 0,4} \right) + 1,5 = 0,8 \cdot \frac{11,2}{\sqrt{126,5}} \cdot \left(\frac{126,5}{10^3 + 0,4} \right) + 1,5 = 1,6;$$

$$a_x = K_x \cdot \left(1 - \frac{2x_n}{L} \right) = 1,25 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 31,625}{126,5} \right) = 0,625,$$

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.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 максимальне нормальне напруження $\sigma_{\max}$ у зазначених точках визначаються за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 3779,2}{15^2} = 100,77 \text{ МПа},$$

де t – товщина пластини, мм;

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

$$M = kpb^2 \cdot 10^{-3} = 0,0832 \cdot 92,7 \cdot 700^2 \cdot 10^{-3} = 3779,2 \text{ Н},$$

де p – розрахунковий тиск, кПа;

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

$k = 0,0832$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин краєвих 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

$\sigma_{\max} = 65,24$ – максимальне напруження, 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, який згідно з Нормами для пластин днища приймається рівним 1.1.

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

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

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для заданої частини зовнішньої обшивки днища коефіцієнт $k_{\sigma} = 1.1$.

Умова міцності виконується:

$$k_{\sigma} \sigma_m^H = 1.1 \cdot 305,55 = 336,105;$$

$$\sigma_{\max} = 100,77 \leq k_{\sigma} \sigma_m^H = 336,105.$$

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У ході виконання дипломної роботи було виконано проектування універсального суховантажного судна відповідно умовам виданого завдання.

Довжина між перпендикулярами	126,5 м
Ширина	17,2 м
Висота борту	5,2 м
Осадка	7,6 м
Дальність плавання	6500 миль
Водотоннажність	9698 т
Вантажопід'ємність	6850 т
Швидкість ходу	11,2 вузли

У процесі роботи були розраховані головні розміри судна, параметри головного двигуна, проведено удиферентування судна. За допомогою програм AutoCad та Maxsurf були отримані 3D-модель, теоретичне креслення, креслення загального розташування, гідростатичні криві судна-проекту.

Проведено розрахунки з теорії корабля та перевірено виконання вимог нормативних документів щодо остійності.

Спроектовано та отримано креслення мідель-шпангоуту судна, а за допомогою розрахунку еквівалентного бруса була перевірена загальна міцність відповідно до «Правил класифікації та будівництва суден» Регістра судноплавства України.

У розділі «Конструкція корпусу корабля» була перевірена міцність на згин пластини зовнішньої обшивки днища на проміжку $0,25L$ від носа.

Можна зробити висновок, що спроектоване універсальне суховантажне судно повністю відповідає отриманому завданню і вимогам Регістру судноплавства України.

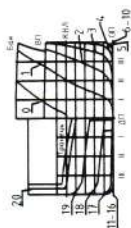
					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник/ О.І. Кротов, В. І. Голіков, О.Ю. Єганов – Миколаїв: УДМТУ, 2003.-156.
2. 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.
3. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден: Методичні вказівки / В.Г. Матвеев, А.І. Кузнецов, Б.М.Мартинець, О.М. Михайлов, О.М. Узлов, М.О. Цибенко, Г.В.Шарун. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с.
4. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2002. – 205 с.
5. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1–2. – Київ, 2011.
6. Кротов О.І., Ільїн С.Ф., Клева Я.А. Курсове і дипломне проектування транспортних суден: Ч.1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2009. – 52 с.
7. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Матвеев Л.О. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів студентами спеціальності "Кораблі та океанотехніка".– Миколаїв: НУК, 2005. – 52 с.
8. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи проектування суден". – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.

					24.ДРБ.135.4111.25.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КОРПУС



Головні розміри судна:
Довжина надбавки $L_{\text{надб}} = 131,7 \text{ м}$
Довжина між перерізів $L_{\text{між}} = 126,5 \text{ м}$
Довжина по КВЛ $L_{\text{КВЛ}} = 128,7 \text{ м}$
Ширина $B = 17,2 \text{ м}$
Висота борту $D = 7,6 \text{ м}$
Осадка по КВЛ $d = 5,2 \text{ м}$
Водотоннажність об'ємна $V = 9461 \text{ м}^3$
Абсциса центра втягання $x = -64,11 \text{ м}$
Апсиса центра втягання $z = 2,72 \text{ м}$
Коефіцієнт загальної повноти $C_p = 0,835$
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії $C_{wp} = 0,902$
Теоретична площа надбавки-шпангоута $S_{\text{нш}} = 0,990$

БІК



НАПІВШИРОТА



24.ДРБ.135.4111.25.01

Теоретичне
креслення

Суховантажне судно
 $P_8=6850 \text{ т}$

Літ.

Маса

Масштаб

1:100

Аркуш 1

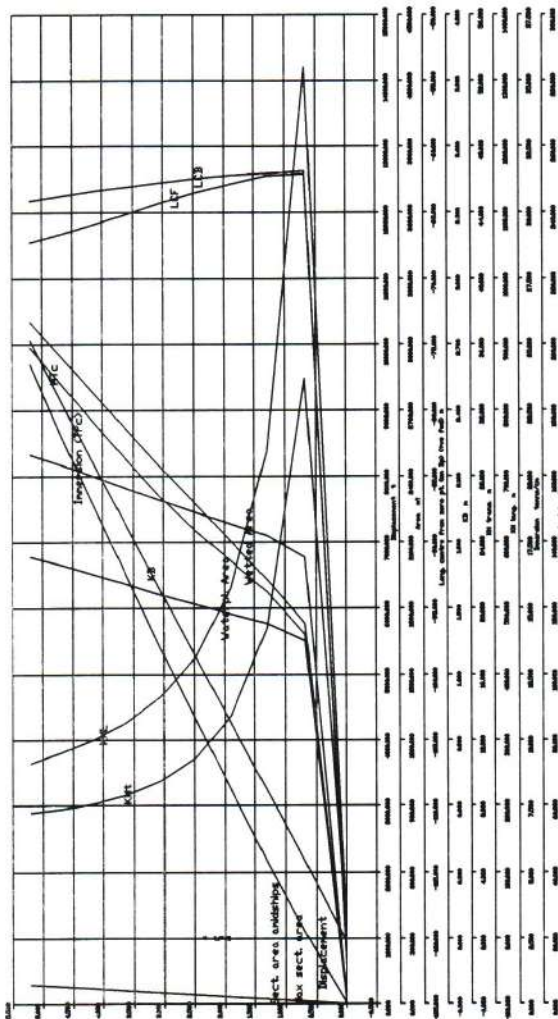
Аркушів 5

НУК

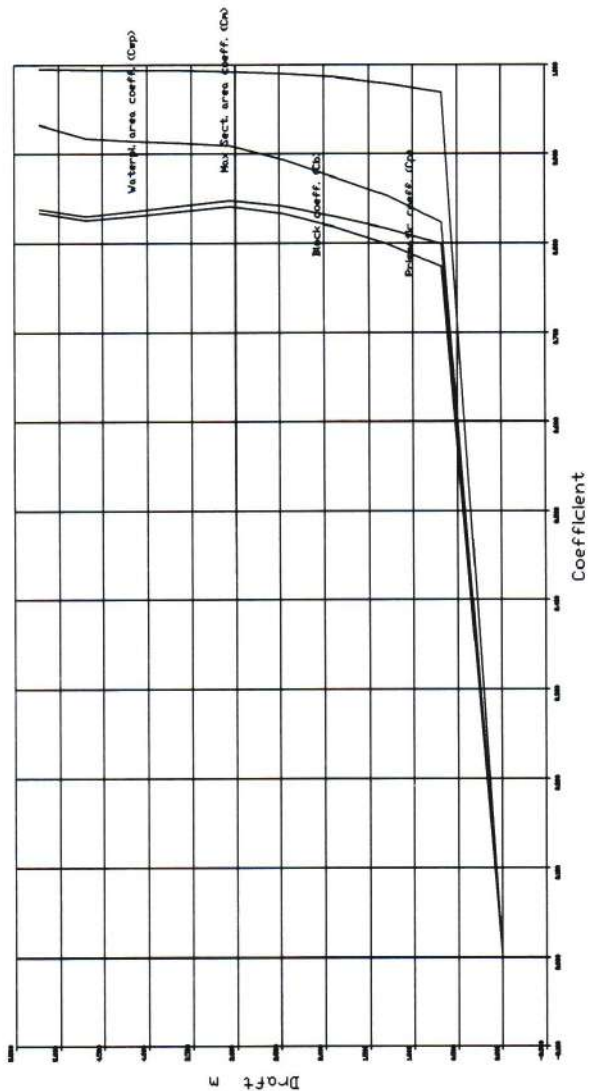
ім. адм. Макарова

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Студент	Тимошенко К.В.		<i>Т.В.</i>	
Консульт.	Астахова А.О.			
Керівник	Ястреба О.П.		<i>О.П.</i>	
Зав.каф.	Некрасов В.О.			

D – масова водотоннажність судна;
 V – об'ємна водотоннажність судна;
 S – площа змоченої поверхні;
 X_s – абсциса центра величини;
 Z_s – апліката центра величини;
 X_f – абсциса центра тяжіння площі ватерлінії;
 Z_f – апліката центра тяжіння площі ватерлінії;
 r – поперечний метacentричний радіус;
 R – продольний метacentричний радіус;
 Z_m – піднесення поперечного метacentру над основою площі;
 M_{KN} – момент, що диференціює на 1 см;



C_p – коефіцієнт поздовжньої повноти;
 C_b – коефіцієнт загальної повноти;
 C_m – коефіцієнт повноти мідел-шпангоута;
 C_{wp} – коефіцієнт повноти площі ватерлінії;



24.ДРБ.135.4111.25.02

Гідростатичні криві

 Суховантажне судно
 $P_b=6850$ т

Лім.	Маса	Масштаб
Аркуш 2	Аркушів 5	

 НУК
 ім. адм. Макарова

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Студент		Тимошенко К.В.	<i>Тимошенко</i>	
Консульт.		Пашенко Ю.М.		
Керівник		Ястреба О.П.	<i>Ястреба</i>	
Зав.каф.		Некрасов В.О.		

1. Розрахунок амплітуди хитації:

$$\theta_1 = 109 \cdot K_1 \cdot X_1 \cdot \sqrt{(r \cdot S)};$$

$$K = 1,00; \quad X_1 = 0,84 \text{ (макс як } B/d = 17,2/5,2 = 3,30) \quad X_2 = 1 \text{ (макс як } C/b = 0,835);$$

$$Z_g = 5,122;$$

$$r = 0,73 - 0,6(Z_g - d)/d = 0,73 - 0,6(-5,122 - 5,2)/5,2 = 0,721;$$

$$S = 0,373 + 0,023 \cdot B/d - 0,043 \cdot L/100 =$$

$$0,373 + 0,023 \cdot 17,2/5,2 - 0,043 \cdot 128,68/100 = 0,394;$$

$$\tau = 2 \cdot c \cdot B/\sqrt{h} = 2 \cdot 0,394 \cdot 17,2/\sqrt{2,462} = 8,788;$$

$$S = 0,0875;$$

$$\theta_1 = 109 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot \sqrt{(0,721 \cdot 0,0875)} = 22,99^\circ;$$

2. Розрахунок креняльного моменту (а) в залежності від тиску повітря і перекидального моменту (b):

$$A_v = \Sigma S_i = 554,91 \text{ м}^2;$$

$$Z_b = (\Sigma S_i \cdot Z_i) / \Sigma S_i = 4375,5/554,91 = 7,885 \text{ м};$$

$$Z_v = Z_b - T/2 = 7,885 - 5,2/2 = 5,285 \text{ м};$$

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

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$D = 9698 \text{ м} - \text{водотонажність судна};$$

$$M_1 = (P_v \cdot A_v \cdot Z_v) / (1000 \cdot g \cdot D) = (504 \cdot 554,91 \cdot 5,285) / (1000 \cdot 9,81 \cdot 9698) = 0,0155 \text{ м};$$

$$M_2 = 1,5 \cdot M_1 = 1,5 \cdot 0,0155 = 0,0223 \text{ м};$$

3. Критерій погоди.

$$K = b/a \geq 1;$$

$$a = 0,24 \text{ м/рад};$$

$$b = 0,67 \text{ м/рад};$$

$$K = b/a = 0,67/0,24 = 2,791 \geq 1;$$

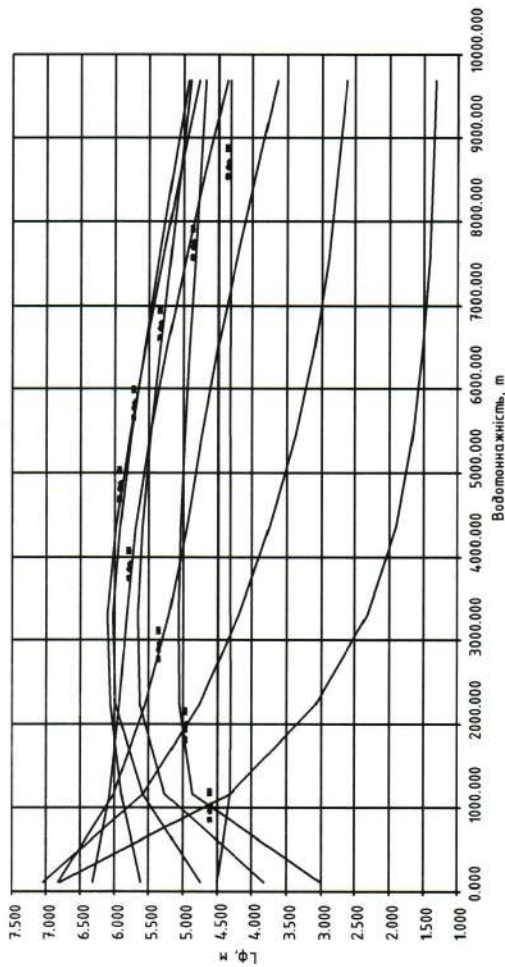


Рис. 1. Плечі остійності форми

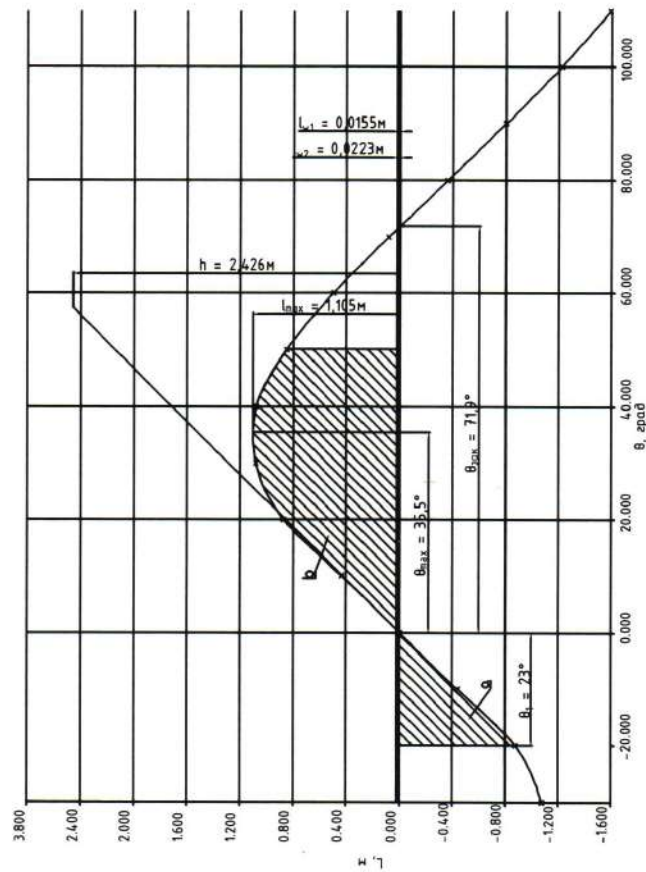


Рис. 2. Діаграма статичної остійності

24.ДРБ.135.4111.25.03

Діаграма остійності
неушкодженого суднаСуховантажне судно
Р_в=6850 т

Лім. Маса Масштаб

Аркуш 3 Аркушів 5

НУК
ім. адм. Макарова

Змн. Арк. № документа Підпис Дата

Студент Тимошенко К.В. *Тимошенко*

Консульт. Пашенко Ю.М.

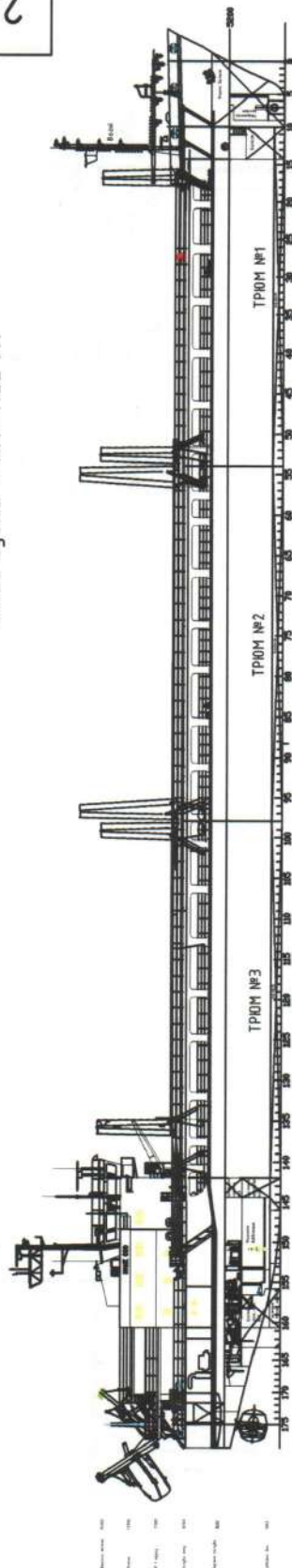
Керівник Ястреба О.П. *Ястреба*

Зав.каф. Некрасов В.О.

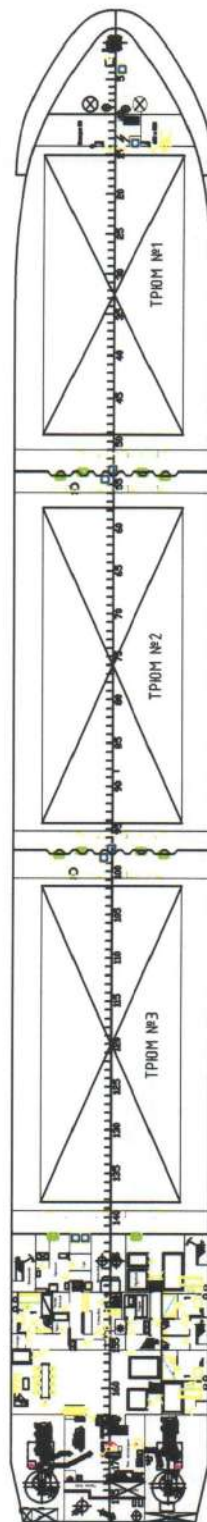
24.ДРБ.135.4111.25.04

Основні характеристики судна:

Довжина найбільша $L_{\text{нб}} = 131,7$ м
 Довжина між перпендикулярами $L_{\text{пп}} = 126,5$ м
 Довжина по КВЛ $L_{\text{квл}} = 128,7$ м
 Ширина $B = 17,2$ м
 Висота дорту $D = 7,6$ м
 Осадка по КВЛ $d = 5,2$ м
 Водотоннажність об'ємна $V = 9461$ м³
 Дедвейт = 9698 т
 Швидкість = 11,2 вузли
 Кількість екіпажу = 11 чол.
 Дальність плавання = 6500 миль
 Клас судна = КМ+ЛУ2 А1



ВЕРХНЯ ПАЛУБА



24.ДРБ.135.4111.25.04

Креслення загального
розташування

Суховантажне судно
 $P_B = 6850$ т

Лім.

Маса

Масштаб

Аркуш 4

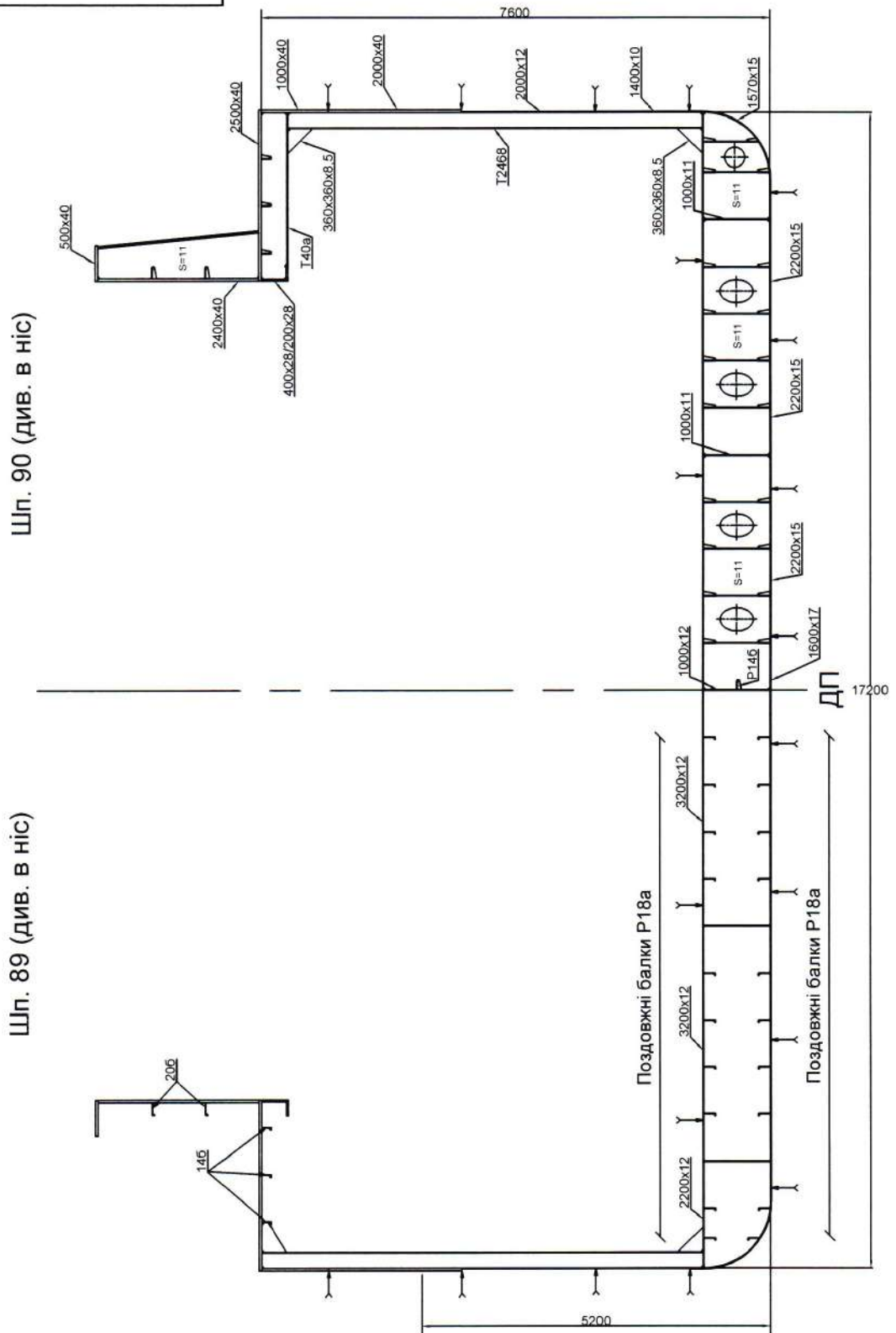
Аркушів 5

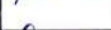
НУК

ім. адм. Макарова

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Студент	Тимошенко К.В.			
Консульт.	Астахова А.О.			
Керівник	Ястреба О.П.			
Зав.каф.	Некрасов В.О.			

24.0P5.135.411.25.05



					24.ДРБ.135.4111.25.05											
					Креслення мідель-шпангоута					Лім.		Маса		Масштаб		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата												
Студент		Тимошенко К.В.														
Консульт.		Шарун Г.В.								Аркуш 5		Аркушів 5				
Керівник		Ястреба О.П.			Суховантажне судно P _в =6850 т					НУК ім. адм. Макарова						
Зав.каф.		Некрасов В.О.														