

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теорії та проектування суден

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

др-техн. наук, професор

В.О. Нєкрасов

« 22 » / 06 2026 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Проект навалочного судна вантажопідйомністю 58000 тонн

Виконав: студент 4 курсу, групи 4111

Спеціальність: 135 «Суднобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Пастущак Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник

Кротов О.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

Шарун Г.В.
(прізвище та ініціали)

**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: «Кораблебудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Кораблебудування»

 ст. вик. Астахова А.О.
« 05 » 02 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Пастушак Данило Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проект навалочного судна вантажопідйомністю 58000 тонн»

Керівник роботи: Кротов О.І. канд. техн. наук, доцент кафедри ТПС НУК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від ____ 2026 року № ____

2. Строк подання студентом роботи: 16 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Вантажопідйомність (вантажомісткість): 58000 тонн

3.2 Вид вантажу (питомий об'єм вантажу): 1,40 м³/т

3.3 Швидкість експлуатаційна: 14,8 вуз

3.4 Клас судна за Правилами класифікаційного товариства: DNVα1A1

3.5 Дальність та район плавання: 15000 миль, необмежений

3.6 Додаткові вимоги: МОД, екіпаж 31 чол.

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

4.1 Визначення основних елементів і характеристики 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 центр 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. Розрахунок поздовжньої міцності.

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

5.1 Теоретичне креслення.

5.2 Гідростатичні криві.

5.3 Діаграма остійності неушкодженого судна.

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

5.5 Конструктивний мідель-шпангоут.

6. Консультанти розділів роботи

№	Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
			завдання видав		завдання прийняв	
1	Проектування судна	ст. викл. Астахова А.О.				
2	Теорія корабля	доц. Пащенко Ю.М.				
3	Конструкція корпусу корабля	ст. викл. Шарун Г.В.				

7. Дата видачі завдання: _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____

Керівник роботи _____

Пастущак Д.В.

Кротов О.І.

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ.....	8
Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	10
1.1 Розрахунок елементів судна-проекту у першому наближенні.....	10
1.2 Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна	19
1.3 Визначення елементів судна-проекту в другому наближенні.....	22
1.4 Побудова теоретичного креслення судна	26
1.5 Побудова креслення загального розташування судна	27
1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ.....	28
1.7 Удиферентування судна	34
Перевірка морехідних якостей судна.....	39
2.1 Побудова гідростатичних кривих.....	39
2.2 Перевірка вимог до остійності за Регістром судноплавства України	41
Набір Конструктивного мідель-шпангоуту	54
3.1 Загальні відомості про судно, що проектується	54
Висновок	58
Список використаної літератури	59

АНОТАЦІЯ

Пастушак Д. В. «Проект навалочного судна вантажопідйомністю 58000 тонн». Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньо-професійної програми «Кораблебудування». Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова, 2026, 59 с.

В даній кваліфікаційній роботі представлено проект навалочного судна вантажопідйомністю 58000 тонн. Робота складається з трьох розділів, які відображають основні етапи проектування суден: основи проектування суден (ОПС); теорія корабля (ТК) та конструкція корпусу корабля (ККК).

В розділі ОПС розраховано методом послідовного наближення (метод за прототипом): навантаження мас; водотоннажність судна у двох наближеннях; коефіцієнти повноти; головні розміри з урахуванням вимог до якостей експлуатаційного, морехідного і виробничо-економічного характеру; потужність головного двигуна та загальний опір судна за допомогою програмного забезпечення «Maxsurf Resistance», який входить у програмний комплекс «Maxsurf» від компанії Bentley Engineering; місткість і уточнення висоти борту за допомогою ЕОМ; місткість, навантаження мас, положення центру ваги судна та удиферентування в програмному забезпеченні «Maxsurf Stability»; креслення теоретичне та загального розташування; тривимірна модель спроектованого судна в програмному забезпеченні «Maxsurf Modeler Advanced» методом лінійного та параметричного перетворення моделі судна-прототипу.

В розділі ТК розраховано та побудовано за допомогою програмного забезпечення «Maxsurf Stability»: гідростатичні криві; діаграма статичної остійності. Також була проведена загальна перевірка остійності згідно вимогам Регістру судноплавства України.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

В розділі ККК обрано: архітектурно-конструктивний тип судна; схему поздовжнього та поперечного перерізів; матеріал корпусу судна. Розраховано: момент опору та момент інерції поперечного перерізу корпусу; в'язі корпусу судна згідно Правил класифікації та побудови морських суден Регістру судноплавства України; еквівалентний брус; загальну поздовжню міцність корпусу судна. Отримано готове креслення конструктивного мідель-шпангоута спроектованого судна.

Ключові слова: навалочне судно, проєкт, головні розміри, водотоннажність, загальна міцність.

ABSTRACT

Pastushchak D. V. "Project of a bulk carrier with a deadweight of 58000 tons." Bachelor's thesis in the specialty 135 "Shipbuilding," educational and professional program "Shipbuilding." Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 2026, 59 p.

This qualification work presents a project for a bulk carrier with a deadweight of 58000 tons. The thesis consists of three sections, which reflect the main stages of ship design: fundamentals of ship design (FSD); ship theory (ST) and ship hull design (SHD).

In the FSD section, the following were calculated using the sequential approximation method (prototype method): mass loads; ship tonnage in two approximations; fullness coefficients; main dimensions taking into account the requirements for operational, navigational, and production and economic characteristics; main engine power and total ship resistance using Maxsurf Resistance software, which is part of the Maxsurf software package from Bentley Engineering; capacity and refinement of side height using a computer; capacity, mass loading, ship center of gravity position, and differentiation in Maxsurf Stability software; theoretical and general arrangement drawings; a three-dimensional model of the

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

designed vessel in Maxsurf Modeler Advanced software using the method of linear and parametric transformation of the prototype vessel model.

In the ST section, the following were calculated and constructed using Maxsurf Stability software: hydrostatic curves; static stability diagram. A general stability check was also carried out in accordance with the requirements of the Ukrainian Register of Shipping.

The following were selected in the SHD section: architectural and structural type of the vessel; longitudinal and transverse section diagram; hull material. The following were calculated: moment of resistance and moment of inertia of the transverse section of the hull; moments and section forces in calm water; hull joints in accordance with the Rules for the Classification and Construction of Sea-going Ships of the Ukrainian Register of Shipping; equivalent beam; overall longitudinal strength of the hull. A finished drawing of the structural midship frame of the designed vessel has been obtained.

Keywords: bulk carrier, design, main dimensions, displacement, overall strength.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Актуальність теми. Стійкий розвиток світової торгівлі та постійне зростання обсягів перевезення навалочних вантажів (вугілля, руда, зерно, цемент та інші) вимагають розробки економічно ефективних та високотехнологічних морських суден. Навалочні судна (балкери) є одними з найбільш гнучких та комерційно затребуваних суден, здатних оперувати у більшості портів світу. Даний дипломний проєкт присвячений необхідністю створення конкурентоспроможного судна для перевезення навалочних та сипучих вантажів, який не лише оптимізує гідродинамічні характеристики, але й повністю відповідає міжнародним стандартам безпеки та надійності, що підтверджується присвоєнням високого класифікаційного символу.

Мета та завдання роботи – розробка технічного проєкту навалочного судна вантажопідйомністю 58000 тонн, з обґрунтуванням його головних розмірів, забезпеченням необхідної остійності та підтвердженням загальної міцності корпусу згідно з вимогами класифікаційних товариств.

Методи та інструментарій. Проєктування базувалося на методі послідовного наближення із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій. Основний інструментарій включав:

- Програмний комплекс Maxsurf (модулі Resistance, Stability, Modeler Advanced) для точного гідродинамічного моделювання, розрахунку остійності, вантажомісткості та створення тривимірної моделі корпусу;
- Нормативна база: Міцнісні та конструктивні розрахунки виконувалися з урахуванням вимог Міжнародного класифікаційного товариства DNV (що підтверджує клас DNVα1A1) та Правил Регістру судноплавства України (РСУ), які є обов'язковими для освітніх проєктів у даній галузі.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.01		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Визначення основних елементів і характеристик судна-проєкту	Літ.	Арк.
Студент	Пастущак Д.В.						Аркуші
Консультант	Астахова А.О.					9	29
Керівник	Кротов О.І.					НУК	
Зав. кафедри	Некрасов В.О.						

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА-ПРОЄКТУ

1.1 Розрахунок елементів судна-проєкту у першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності прототипу

Для визначення водотоннажності прототипу, беремо дані з [7, с.136, Б2], де необхідно скласти алгебраїчне рівняння мас, яке виглядає наступним чином:

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_к + \bar{P}_{зв} + \bar{P}_{об} + \bar{P}_{еу} + \bar{P}_п + \bar{P}_{пост} + \bar{P}_в + \bar{P}_{р.бал}, \quad (1.1)$$

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

$\bar{P}_к, \bar{P}_{зв}, \bar{P}_{об}, \bar{P}_{еу}, \bar{P}_п, \bar{P}_{пост}, \bar{P}_в, \bar{P}_{р.бал}$ – маса розділів навантаження: корпус, запас водотоннажності, обладнання, енергетичної установки, паливо, постачання (забезпечення), вантаж, рідкий баласт, т.

Риска над цими та подальшими позначеннями у формулах означає, що вони відносяться до судна-прототипу.

Після підстановки у формулу (1.1) відомих значень мас розділів навантаження прототипу, яке наведене у загальних характеристиках судна, в результаті отримано значення водотоннажності:

$$\bar{\Delta} = 10964 - 94 + 2833 + 910 + 2196 + 341 + 56395 + 0 = 73546 \text{ т.}$$

Визначено координати центру маси (ЦМ) судна-прототипу, як частка ділення суми статичних моментів на суму мас. Завдяки тому, що в розподілі мас симетрично діаметральній площині (ДП), значення ординати не враховуємо, а знайдено тільки абсцису та аплікату ЦМ:

$$\bar{X}_g = \frac{\sum \bar{M}_x}{\bar{\Delta}} = \frac{337515,23}{73546} \approx 4,59 \text{ м}; \quad \bar{Z}_g = \frac{\sum \bar{Z}_x}{\bar{\Delta}} = \frac{804858,31}{73546} \approx 10,94 \text{ м} \quad (1.2)$$

Значення коефіцієнта утилізації по чистій вантажопідйомності знаходиться в залежності від швидкості ходу та дальності плавання. Його значення розраховано за формулою:

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$\overline{\eta_B^{\text{кор}}} = \overline{\eta_B} - \left(\overline{a_{ey}} \left(\frac{v_B}{\overline{v_B}} \right)^3 + \overline{a_{\pi}} \left(\frac{v_e}{\overline{v_e}} \right)^2 \frac{R}{\overline{R}} \right) + \overline{a_{ey}} + \overline{a_{\pi}}, \quad (1.3)$$

де $\overline{\eta_B}$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності під вантаж; $\overline{a_{ey}}, \overline{a_{\pi}}$ – вимірники мас енергетичної установки та палива; $v_B, v_e, \overline{v_B}, \overline{v_e} = 15,3; 14,8; 14,8; 14,3$ – швидкість ходу на випробуваннях і експлуатаційна, вузл.; $R, \overline{R} = 15000; 15000$ – дальність плавання, миль.

$$\overline{\eta_B} = \frac{\overline{P_B}}{\overline{\Delta}} = \frac{56395}{73546} = 0,7668; \quad \overline{a_{ey}} = \frac{\overline{P_{ey}}}{\overline{\Delta}} = \frac{910}{73546} = 0,0124;$$

$$\overline{a_{\pi}} = \frac{\overline{P_{\pi}}}{\overline{\Delta}} = \frac{2196}{73546} = 0,029859.$$

В результаті підстановки розрахованих значень у формулу (1.3) отримано:

$$\overline{\eta_B^{\text{кор}}} = 0,7668 - \left(0,0124 \left(\frac{15,3}{14,8} \right)^3 + 0,029859 \left(\frac{14,8}{14,3} \right)^2 \frac{15000}{15000} \right) +$$

$$+ 0,0124 + 0,029859 \approx 0,7634$$

Для врахування масштабного ефекту судна, необхідно використати формулу:

$$\eta_0 = \overline{\eta_B^{\text{кор}}} \left(\frac{P_B}{\overline{P_B}} \right)^{0,25} = 0,7634 \left(\frac{58000}{56395} \right)^{0,25} \approx 0,7688, \quad (1.4)$$

де $P_B = 58000$ – вантажопідйомність судна-проекту, т.

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

$$\Delta_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{58000}{0,7688} = 75447 \text{ т} \quad (1.5)$$

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

Отримавши значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри судна-проекту. Спочатку визначаються характеристики форми корпусу судна: відносна довжина l , число Фруда, коефіцієнт загальної повноти δ (C_b), коефіцієнт повноти площі вантажної ватерлінії α (C_w), коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту β (C_m), коефіцієнт повздовжньої повноти φ (C_p) та відношення сторін корпусу судна.

Порядок розрахунку залишається таким же, як описано вище:

- відносна довжина l судна-прототипу у першому наближенні розраховано наступним чином:

$$\bar{l} = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}}{\rho}}} = \frac{217,3}{\sqrt[3]{\frac{73546}{1,025}}} = 5,229 \text{ м}, \quad (1.6)$$

де $\bar{L} = 217,3$ – довжина між перпендикулярами, яка наведена в загальній характеристиці судна-прототипу, м; $\bar{\Delta}$ – водотоннажність судна-прототипу, яка розрахована у формулі (1.1), т; $\rho = 1,025$ – густина морської води, т/м³.

- відносна довжина l судна-проекту у першому наближенні:

$$l = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}}} \right) \cdot \sqrt[3]{v_e} = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\frac{75447}{1,025}}} \right) \cdot \sqrt[3]{14,8} = 5,203 \text{ м}, \quad (1.7)$$

де Δ_1 – водотоннажність судна-проекту в першому наближенні, яку розраховували в формулі (1.5)

З отриманих відносних довжин обрано остаточне значення для прототипу згідно з умовами, які наведені в табл.1.1.

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.1 – Визначення остаточного значення відносної довжини судна-проекту

Тип судна	Умове позначення	Числове значення	Одиниці вимірювання	Умова	Прийнято
Прототип	$\bar{v}_e, \bar{l}$	14,3; 5,229	вузл; м.	Якщо $\bar{v}_e > v_e$, то обираємо менше значення l	5,229
Проект	v_e, l	14,8; 5,203			

- очікувана довжина судна між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}} = 5,229 \cdot \sqrt[3]{\frac{75447}{1,025}} = 219,16 \text{ м.} \quad (1.8)$$

- число Фруда:

Прототипу

$$Fr = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g \cdot \bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 14,3}{\sqrt{9,8 \cdot 217,3}} = 0,159 \quad (1.9)$$

Проекту

$$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{g \cdot L_0}} = \frac{0,514 \cdot 14,8}{\sqrt{9,8 \cdot 219,16}} = 0,164 \quad (1.10)$$

В таблиці 1.2 проведено розрахунок коефіцієнтів повноти проектного судна. Коефіцієнти обрано шляхом порівняння чисел Фруда прототипу та проекту: вище значення числа Фруда зумовлює більші значення коефіцієнтів

Таблиця 1.2 – Вибір коефіцієнтів повноти судна-проекту

Коефіцієнт повноти	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
Загальної	$\delta = 1 - \frac{0,48}{(1 + 100 \cdot e^{(-24 \cdot Fr)})}$	0,837	0,826	0,826
Поздовжньої	$\varphi = 1 - \frac{0,41}{(1 + 100 \cdot e^{(-25 \cdot Fr)})}$	0,846	0,858	0,846
Мідель-шпангоута	$\beta = \frac{\delta}{\varphi}$	0,990	0,995	0,990
Площі ватерлінії	$\alpha = 1,01 \cdot \varphi^{2/3}$	0,903	0,910	0,903

Остаточний вибір коефіцієнтів повноти залежить від перевірки цих величин між собою по Норману:

$$KЗК = \frac{\alpha \cdot \beta}{\delta} = \frac{0,903 \cdot 0,990}{0,826} = 1,08$$

Значення задовольняє умови $KЗК = 1,16 \pm 0,16$. Отже коефіцієнти повноти отримані вірно!

1.1.3 Визначення співвідношень головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитаючи

Для визначення співвідношення висоти до осадки (D/d) за умовами забезпечення місткості буде використано коефіцієнт екстраполяції. Формула виглядає таким чином:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{міс}} = (1,07\mu_{\text{в}}\eta_{\text{в}} + 0,16)k_{\text{е}}, \quad (1.11)$$

де $\mu_{\text{в}}$ – питомий об'єм вантажу, м³/т; $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності під вантаж; $k_{\text{е}}$ – коефіцієнт екстраполяції (поправочний коефіцієнт), визначення якого пов'язане з використанням значення відношення висоти борту до осадки прототипу як екстраполятора.

Розраховано спочатку співвідношення для місткості, загальне для судна-прототипу та коефіцієнт екстраполяції для судна-проєкту за формулою (1.11) та діленням, підставивши значення з загальних характеристик цього судна, а значення коефіцієнта екстраполяції для прототипу обрано одиницю:

$$\overline{\left(\frac{D}{d}\right)}_{\text{міс}} = (1,07\overline{\mu_{\text{в}}}\overline{\eta_{\text{в}}} + 0,16)\overline{k_{\text{е}}} = (1,07 \cdot 1,44 \cdot 0,7668 + 0,16) \cdot 1 = 1,34$$

$$\frac{\overline{D}}{\overline{d}} = \frac{18,85}{12,2} \approx 1,55 \quad (1.12)$$

$$k_{\text{е}} = \frac{\frac{\overline{D}}{\overline{d}}}{\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{міс}}} = \frac{1,55}{1,34} = 1,15$$

Тепер розраховано для судна-проєкту, підставивши у формулу (1.11) дані з виданого завдання та формули (1.4;1.12):

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{міс}} = (1,07 \cdot 1,4 \cdot 0,7688 + 0,16) \cdot 1,15 = 1,5107 \quad (1.13)$$

Завдяки тому, що значення питомої кубатури вантажу в судна-прототипу більша, ніж у судна-проекту, тому остаточне співвідношення $\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{міс}}$ буде 1,55.

Розраховано співвідношення D/d за умови забезпечення непотоплюваності:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{нпт}} \geq \frac{\beta \mu_v k_w}{\frac{\alpha k_{\alpha L}}{\bar{l}_3} - 1} + 1. \quad (1.14)$$

де μ_v – коефіцієнт проникливості затоплюваного відсіку, прийнято значення 0,6 (за Правилами Регістру для зерна); k_w – редуційний коефіцієнт площі мідель-шпангоута, який розраховується за формулою

$$k_w = 2 - \exp(0,3 \cdot \bar{l}_3 \cdot (1 - \varphi)), \quad (1.15)$$

де $\bar{l}_3 = L_3 / L_{\text{нпт}} = 0,12 \dots 0,25$ – відносна довжина симетричного відсіку в середній частині судна, затоплення якого повинно витримати судно, прийнято значення 0,12; $k_{\alpha L}$ – коефіцієнт розширення корпусу від конструктивної ватерлінії (КВЛ) до верхньої палуби (ВП)=1. Рахується ось таким чином:

$$k_{\alpha L} = 0,5 \cdot \left(1 + (1,07 \mu_v \eta_0 + 0,16)^{\frac{0,98}{\sqrt{\delta}} - 1}\right), \quad (1.16)$$

де α, β, φ – коефієнти повноти: площі ватерлінії; площі мідель-шпангоута; повздовжньої, які розраховані раніше.

Визначено невідомі величини, підставивши в формули (1.14-1.16) відомі значення:

$$k_w = 2 - \exp(0,3 \cdot 0,12 \cdot (1 - 0,845)) = 0,994$$

$$k_{\alpha L} = 0,5 \cdot \left(1 + (1,07 \cdot 1,4 \cdot 0,7688 + 0,16)^{\frac{0,98}{\sqrt{0,826}} - 1}\right) = 1,011$$

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{нпт}} \geq \frac{0,990 \cdot 0,6 \cdot 0,994}{\frac{0,903 \cdot 1,011}{0,12} - 1} + 1 = 1,0894$$

Відношення висоти до осадки задовольняє умовам непотоплюваності $\left(\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{нпт}} \leq \left(\frac{D}{d}\right)_{\text{міс}}\right)$.

Прийнято $\frac{D}{d} = 1,55$.

Для визначення співвідношення ширини до осадки (B/d), спочатку треба розрахувати значення метацентричної висоти до ширини судна (h/B). Дане значення знадобиться в подальших розрахунках. Для цього буде використано декілька варіантів розрахунку (h/B): за прототипом; за формулою Ховгарда; за статистичними даними (табл.1.4).

Таблиця 1.3 – Розрахунок (h/B) декількома методами

Метод	Формула	Підстановка	Значення
Прототип	$\frac{\bar{h}}{\bar{B}}$	$\frac{2,58}{32,2}$	0,08
Формула Ховгарда	$\left(\frac{h}{B}\right)_{\text{max}} = \frac{c_{\tau}^2 \cdot B_0}{\tau^2}$	$\frac{0,816^2 \cdot 32,48}{13^2}$	0,128
Статистичні дані	$\left(\frac{h}{B}\right)_{\text{max стат}}$	—	0,05

Примітка: c_{τ} – емпіричний коефіцієнт, який враховує вплив інерції маси судна і приєднаних мас води на період хитавиці; B_0 – очікувана ширина судна-проекту, м; τ – див. табл.1.5; ζ_g – значення відносної аплікати центра мас, який визначається за судном-прототипом.

$$c_{\tau} = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \cdot \frac{\alpha^2}{\delta} + 4 \cdot \zeta_g^2 \cdot \left(\frac{\bar{D}}{\bar{B}}\right)^2} = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \cdot \frac{0,903^2}{0,826} + 4 \cdot 0,58^2 \cdot \left(\frac{18,85}{32,2}\right)^2} = 0,816;$$

$$\zeta_g = \frac{\bar{z}_g}{\bar{D}} = \frac{10,94}{18,85} = 0,58; B_0 = \bar{B} \cdot \left(\frac{\Delta_1}{\bar{\Delta}}\right)^{1/3} = 32,2 \cdot \left(\frac{75447}{73545}\right)^{1/3} = 32,48$$

Таблиця 1.4 – Статистичні дані для (h/B)

Тип судна	Універсальне суховантажне	Накатне	Контейнерне	Танкер	Рудовоз
$\frac{h}{B}$	0,03...0,05	0,02...0,06	0,02...0,04	0,08...0,15	0,05...0,08

Таблиця 1.5 – Найменш рекомендовані значення періодів хитавиці суден залежно від їх призначень

Тип судна	Універсальне суховантажне	Накатне	Контейнерне	Танкер
Період хитавиці τ , с	13	16	20	15

Прийнято значення $(h/B) = 0,08$.

Здійснено розрахунок співвідношення висоти до осадки за умови забезпечення остійності і плавності хитавиці:

$$\frac{h}{B} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p \cdot \alpha^2}{3 \cdot \delta} \cdot \left(\zeta_g \cdot \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{\delta}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{k_p \cdot \alpha^2}{6 \cdot \delta}}, \quad (1.17)$$

де k_p – коефіцієнт, який враховує вплив форми носової гілки вантажної ватерлінії та її поперечний момент інерції I_x визначається як:

$$k_p = \begin{cases} 0,74 + 0,8 \cdot \alpha - 0,55 \cdot \alpha^2 - \text{для опуклої ватерлінії} (Fr \geq 0,2) \\ 0,6 + 1,2 \cdot \alpha - 0,8 \cdot \alpha^2 - \text{для } S - \text{подібної ватерлінії} (Fr \leq 0,2) \end{cases}$$

Вид ватерлінії залежить від числа Фруда, який був врахований раніше в формулі (1.10), тому в цьому випадку в судна S – подібна ватерлінія. Але буде прийняте рішення, що для проєктованого судна – опукла ватерлінія.

$$k_p = 0,6 + 1,2 \cdot \alpha - 0,8 \cdot \alpha^2 = 0,6 + 1,2 \cdot 0,903 - 0,8 \cdot 0,903^2 = 1,031 \quad (1.18)$$

Підставлено в (1.17) всі відомі величини, які розраховані раніше:

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$\frac{B}{d} = \frac{0,08 + \sqrt{(0,08)^2 + \frac{1,031 \cdot 0,903^2}{3 \cdot 0,826} \cdot \left(0,58 \cdot 1,55 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,903}{0,826}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{1,031}{6} \cdot \frac{0,903^2}{0,826}} \approx 2,58$$

Прийнято значення B/d прототипу, $\overline{B/d} = 32,2/12,2 = 2,64$.

Для визначення співвідношення довжини судна до його ширини, буде використана формула:

$$\frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \cdot \delta \cdot \frac{1}{B} \cdot k_{\text{в.ч.}} \cdot \rho} = \sqrt{5,229^3 \cdot 0,826 \cdot \frac{1}{2,64} \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 6,81, \quad (1.19)$$

де $k_{\text{в.ч.}}$ — коефіцієнт виступаючих частин корпусу судна, яке прийняте 1,01.

Для остаточного правильного прийняття співвідношення, використано таблицю подану нижче.

Таблиця 1.6 – Визначення співвідношення L/B

Судно	Формула	Значення	Умова	Прийнято
Проект	$\frac{L}{B} = \sqrt{l^3 \delta \frac{1}{B} k_{\text{в.ч.}} \rho}$	6,81	Якщо $v_e > \bar{v}_e$, то $\frac{L}{B} \geq \frac{\bar{L}}{\bar{B}}$	6,81
Прототип	$\frac{\bar{L}}{\bar{B}}$	$\frac{217,3}{32,2} = 6,75$		

1.1.4 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використано рівняння плавучості:

$$\Delta_{1.1} = k_{\text{в.ч.}} \cdot \rho \cdot \delta \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot d_1 \quad (1.20)$$

Скориставшись знайденими раніше співвідношення сторін корпусу судна, буде знайдено головні розміри судна, підставивши в (1.19) співвідношення та окремо прорахуємо розміри в першому наближенні, які наведені в табл.1.7.

$$\Delta_{1.1} = k_{в.ч.} \cdot \rho \cdot \delta \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_1 \cdot B_1^3 \cdot \left(\frac{d}{B}\right)_1 \quad (1.21)$$

Таблиця 1.7 – Розрахунок головних розмірів в першому наближенні

Назва головних розмірів судна, м	Формула	Значення
Довжина між перпендикулярами	$L_1 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_1 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_1^2 \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_1}{k_{в.ч.} \cdot \rho \cdot \delta}}$	221,0
Ширина	$B_1 = \frac{L_1}{\left(\frac{L}{B}\right)_1}$	32,5
Осадка	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	12,3
Висота борту	$D_1 = d_1 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)_1$	19,1

1.2 Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна

Розрахунок потужності головного двигуна проводимо за допомогою програмного забезпечення Maxsurf Resistance. Завдяки тому, що у прототипу є теоретичне креслення, була виміряна площа занурення транця (Transom area), площа бульба (Bulb transverse area), $\frac{1}{2}$ кута входу носової частини судна ($\frac{1}{2}$ angle of entrance) та висота центра тяжіння площі поперечного перерізу носового бульба від основної лінії (Bulb height from keel). В вікні значень (Data Window), було введено значення, які потребує програма для розрахунку. Метод для розрахунку використовувався Holtrop. Ефективність ходу судна (Efficiency) було поставлено значення 58%, так як для навалочних суден це значення входить в діапазон норми. Обрано саме це значення, щоб потужність головного двигуна була трішки більше за судно-прототип. Всі невідомі значення рахувалися по формулам, які наведені в таблиці 1.8. Заповнене вікно даних (Data Window) та результати розрахунків в Maxsurf Resistance наведені нижче.

Таблиця 1.8 – Знаходження невідомих величин для Data Window

Назва величини	Позначення та формула	Значення
Довжина по ватерлінії, м	$LWL = 1,02 \cdot L_1 + 1$	$\approx 226,4$
Об'ємна водотоннажність, м ³	$\nabla = \frac{\Delta_1}{\rho}$	73606,79
Площа змоченої поверхні, м ²	$\Omega = L_1 \cdot B_1 \cdot \left(2 + 1,37 \cdot (\delta - 0,274) \cdot \frac{B_1}{d_1}\right)$	10860,44
Абсциса центра тяжіння, м	$\frac{\overline{LCG}}{\overline{L}} \cdot L_1$	4,57
Площа транця, м ²	$\frac{\overline{A_t}}{\overline{B} \cdot \overline{d} \cdot \overline{\beta}} \cdot B_1 \cdot d_1 \cdot \beta$	6,067
Площа максимального перерізу, м ²	$B_1 \cdot d_1 \cdot \beta$	395,377
Площа поперечного перерізу бульба, м ²	$\frac{\overline{A_b}}{\overline{B} \cdot \overline{d} \cdot \overline{\beta}} \cdot B_1 \cdot d_1 \cdot \beta$	60,681

	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	226,4	m	226,4
2	Beam	32,5	m	32,5
3	Draft	12,3	m	12,3
4	Displaced volume	73606,79	m³	73606,79
5	Wetted area	10860,44	m²	10860,44
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,846		0,846
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,903		0,903
8	1/2 angle of entrance	20,5	deg.	20,5
9	LCG from midships(+ve for'd)	4,57	m	4,57
10	Transom area	6,067	m²	6,067
11	Transom w/l beam	5,009	m	--
12	Transom draft	0,865	m	--
13	Max sectional area	395,377	m²	--
14	Bulb transverse area	60,681	m²	60,681
15	Bulb height from keel	6	m	6
16	Draft at FP	12,3	m	12,3
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--
18	Hard chine or Round bilge	Hard chine		--
19				
20	Frontal Area	0	m²	
21	Headwind	0	kn	
22	Drag Coefficient	0		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	0	m²	
25	Nominal App. length	0	m	
26	Appendage Factor	1		
27				
28	Correlation allow.	0,0004		Calculate
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m²2/s	
30	Water Density	1,025	tonne/	

Рис. 1.1 Введені дані в Data Window

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	--	--
2	0,382	0,004	0,010	0,8	0,264
3	0,765	0,008	0,019	2,9	1,935
4	1,147	0,013	0,029	6,1	6,224
5	1,530	0,017	0,039	10,5	14,287
6	1,912	0,021	0,049	16,1	27,254
7	2,295	0,025	0,058	22,7	46,236
8	2,677	0,029	0,068	30,5	72,332
9	3,060	0,033	0,078	39,3	106,627
10	3,442	0,038	0,087	49,2	150,197
11	3,825	0,042	0,097	60,2	204,101
12	4,207	0,046	0,107	72,2	269,388
13	4,590	0,050	0,116	85,3	347,088
14	4,972	0,054	0,126	99,4	438,216
15	5,355	0,058	0,136	114,5	543,767
16	5,737	0,063	0,146	130,6	664,717
17	6,120	0,067	0,155	147,7	802,024
18	6,502	0,071	0,165	165,9	956,624
19	6,885	0,075	0,175	184,9	1129,437
20	7,267	0,079	0,184	205,0	1321,365
21	7,650	0,084	0,194	226,0	1533,298
22	8,032	0,088	0,204	247,9	1766,123
23	8,415	0,092	0,214	270,7	2020,725
24	8,797	0,096	0,223	294,5	2298,008
25	9,180	0,100	0,233	319,2	2598,902
26	9,562	0,104	0,243	344,8	2924,386
27	9,945	0,109	0,252	371,3	3275,506
28	10,327	0,113	0,262	398,8	3653,396
29	10,710	0,117	0,272	427,3	4059,309
30	11,092	0,121	0,281	456,8	4494,635
31	11,475	0,125	0,291	487,4	4960,938
32	11,857	0,129	0,301	519,1	5459,974
33	12,240	0,134	0,311	552,1	5993,727
34	12,622	0,138	0,320	586,3	6564,426
35	13,005	0,142	0,330	622,0	7174,574
36	13,387	0,146	0,340	659,1	7826,972
37	13,770	0,150	0,349	698,6	8532,893
38	14,152	0,155	0,359	740,2	9291,899
39	14,535	0,159	0,369	783,8	10105,49
40	14,917	0,163	0,379	829,7	10977,99
41	15,300	0,167	0,388	877,9	11914,05

Рис. 1.2 Розрахунок опору та потужності в Results Window

Потужність двигуна для швидкості на випробуваннях: $v_b = 15,3$ вузлів, $N_b \approx 11914$ кВт. Потужність двигуна для швидкості в умовах експлуатації: $v_e = 14,8$ вузлів, $N_e \approx 10703$ кВт. Для цього судна буде обрано мало обертовий дизельний двигун фірми «MAN B&W». Згідно рекомендацій даної фірми [12], для мало обертових двигунів треба назначати 15% надбавку к опору судна на випробуваннях та на 10% розрахованої потужності. Обрано головний двигун фірми «MAN B&W» за каталогом [5] й наведений в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Характеристики головного двигуна

Марка	Потужність номінальна, кВт	Частота обертання, об/хв	Витрата палива г/(кВт·год)	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, т
7L60MC	13340	123	171	9515	3228	9300	407

1.3 Визначення елементів судна-прототипу в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок похибки потужності головного двигуна

Для перевірки правильності розрахунків в минулому підрозділі, розрахуємо похибку між даними з Maxsurf Resistance та адміралтейській формулі в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Розрахунок похибки потужності головного двигуна

№	Назва величини	Умовне позначення	Розмірність	Значення
1	Водотоннажність прототипу	$\bar{\Delta}$	т	73546
2	Водотоннажність проекту	Δ_1	т	75447
3	Швидкість експлуатаційна прототипу	$\bar{v}_e$	вуз	14,3
4	Швидкість на випробуваннях прототипу	$\bar{v}_B$	вуз	14,8
5	Швидкість експлуатаційна проекту	v_e	вуз	14,8
6	Швидкість на випробуваннях проекту	v_B	вуз	15,3
7	Потужність експлуатаційна прототипу	$\bar{N}_e$	кВт	7810
8	Потужність на випробуваннях прототипу	$\bar{N}_B$	кВт	11370
9	Потужність експлуатаційна проекту	N_e	кВт	10703
10	Потужність на випробуваннях проекту	N_B	кВт	11914
11	Адміралтейський коефіцієнт експлуатаційний	$\bar{C}_e = \frac{(3)^3 \cdot (1)^{2/3}}{(7)}$	–	657,25
12	Адміралтейський коефіцієнт на випробуваннях	$\bar{C}_B = \frac{(4)^3 \cdot (1)^{2/3}}{(8)}$	–	500,49
13	Потужність експлуатаційна по адміралтейській	$N_{e \text{ адм.}} = \frac{(2)^{\frac{2}{3}} \cdot (5)^3}{(11)}$	кВт	8807

Продовження таблиці 1.10

№	Назва величини	Умовне позначення	Розмірність	Значення
14	Потужність на випробуваннях по адміралтейській	$N_{\text{в адм.}} = \frac{(2)^{\frac{2}{3}} \cdot (6)^3}{(12)}$	кВт	12777
15	Похибка експлуатаційна	$\Delta N_e = \frac{(9) - (13)}{(9)}$	%	17,72
16	Похибка на випробуваннях	$\Delta N_v = \frac{(10) - (14)}{(10)}$	%	-7,25

Якщо похибка становить більше $\pm 3\%$, то необхідно зробити друге наближення для розрахунку водотоннажності в функції головних розмірів.

1.3.2 Розрахунок водотоннажності

Це наближення потрібно, щоб по потужності головного двигуна, обраного раніше, уточнити його масу, а по питомих витратах палива уточнити масу палива, а з ним і водотоннажність судна.

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 $P_k = q_k \delta^n LBD$, а маса обладнання $P_{об} = q_0 (LBD)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки та маси палива використовується значення потужності головного двигуна, що прийняте за каталогом раніше. Вирази для маси постачання $P_{\text{пост}}$, маси баласту $P_{\text{р.бал}}$ і маси запасу водотоннажності $P_{\text{зв}}$, значення яких в навантаженні мас є незначними, доцільно залишити незмінними: $P_{\text{пост}} = a_{\text{пост}} \Delta$; $P_{\text{р.бал}} = a_{\text{р.бал}} \Delta$; $P_{\text{зв}} = a_{\text{зв}} \Delta$.

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

$$P_k = q_k \delta^n LBD = \delta^n LBD \cdot \frac{\Delta_1}{k_{\text{в.ч.}} \rho \delta L_1 B_1 d_1} = \Delta_1 \left(q_k \frac{\delta^n D}{\delta} \frac{1}{d} \frac{1}{k_{\text{в.ч.}} \rho} \right) \quad (1.22)$$

$$P_{об} = q_{об}(LBD)^{2/3} = \Delta_1^{2/3} \left(q_{об} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{k_{в.ч.} \rho \delta} \right)^{2/3} \right) \quad (1.23)$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta_1 \left(1 - 0,966 q_k \frac{\delta^n D}{\delta} \frac{1}{d} \frac{1}{k_{в.ч.} \rho} - a_{пост} - a_{зв} \right) = \\ = \Delta_1^{2/3} \left(q_{об} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{k_{в.ч.} \rho \delta} \right)^{2/3} \right) + q_{ey} N_B + q_{п} k_{мз} k_{доп} k_{в.ч.} N_e \frac{R}{v_e} + P_B \end{aligned} \quad (1.24)$$

Проміжні коефіцієнти, які знадобляться в (1.24) розраховані в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Проміжні коефіцієнти

Назва величини	Позначення та формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{\delta}_n = \bar{\delta} \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{\alpha} \bar{k}_{\alpha L} \left(1 - \frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right)$	0,859
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$\delta_n = \delta \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 \alpha k_{\alpha L} \left(1 - \frac{d_1}{D_1} \right)$	0,857
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_k = \frac{\bar{P}_k}{\bar{\delta}_n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,0967
Вимірник маси обладнання прототипу	$q_{об} = \frac{\bar{P}_{об}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,0934
Вимірник маси енергетичної установки прототипу	$q_{ey} = \frac{\bar{P}_{ey}}{\bar{N}_B}$	0,08
Вимірник маси палива по каталогу	$q_{п}$	$171 \cdot 10^{-6}$
Вимірник маси забезпечення прототипу	$q_{пост} = \frac{\bar{P}_{пост}}{\bar{\Delta}}$	0,1943
Вимірник маси водотоннажності прототипу	$a_{зв} = \frac{\bar{P}_{зв}}{\bar{\Delta}}$	0,01
Вимірник маси баласту прототипу	$a_{р.бал} = \frac{\bar{P}_{р.бал}}{\bar{\Delta}}$	0
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення палива	$k_{доп}$	1,15

Продовження таблиці 1.11

Назва величини	Позначення та формула	Значення
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966q_k \frac{\delta^n D_1}{\delta d_1} - a_{зв} - a_{р.бал}$	0,8398
	$m = q_{об} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{\rho \delta} \right)^{2/3} + a_{пост}$	1,8306
	$A = q_{ey} N_v + q_{п} k_{мз} k_{доп} N_e \frac{R}{v_e} + P_v + P_{р.бал}$	61522,6185
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta_2 - \frac{m}{n} \Delta_2^{2/3} - \frac{A}{n}$	0

Примітка: значення $\bar{k}_{\alpha L}$ – знаходимо по формулі (1.16) підставивши дані з судна-прототипу.

Використовуючи метод підбору параметрів у програмі Excel, вирішено рівняння водотоннажності та отримано значення водотоннажності у другому наближенні:

$$\Delta_2 = 77213 \text{ т}$$

Завдяки отриманому значенні водотоннажності у другому наближенні, з'явилася можливість розрахувати маси статей навантаження судна-проекту. Результати даних розрахунків наведені в таблиці нижче.

Таблиця 1.12 – Розрахунок мас статей навантаження судна-проекту

Назва статі навантаження мас	Позначення та формула	Значення, т
Корпусу	$P_k = 0,966q_k \Delta_2 \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{\delta^n}{\delta} \right)$	11599,2
Обладнання	$P_{об} = q_{об} \Delta_2 \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{\rho \delta} \right)^{2/3}$	2967,1
Енергетичної установки	$P_{ey} = q_{ey} N_v$	953,1
Забезпечення	$P_{пост} = a_{пост} \Delta_2^{2/3}$	352,3
Запасу водотоннажності	$P_{зв} = a_{зв} \Delta_2$	772,1
Палива	$P_{п} = q_{п} k_{мз} k_{доп} N_e \frac{R}{v_e}$	2569,5
Баласту	$P_{р.бал} = a_{р.бал} \Delta_2$	0
Вантажу	P_v	58000
Водотоннажність	$\Delta_2 = P_k + P_{об} + P_{ey} + P_{пост} + P_{зв} + P_{п} + P_{р.бал} + P_v$	≈ 77213

1.3.3 Розрахунок головних розмірів з використанням коефіцієнта геометричної подібності

Для розрахунку головних розмірів, буде використано уточнення головних розмірів через коефіцієнт геометричної подібності λ . За наявності повної геометричної подібності судна-прототипу і проєкту обводи корпусу проєкту, що може бути записано в формулі (1.25).

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} = \sqrt[3]{\frac{77213}{75447}} = 1,008 \quad (1.25)$$

Головні розміри одержані шляхом перемноження коефіцієнта з (1.25) на розраховані раніше розміри, які наведені в таблиці 1.7. Результат наведений нижче.

Таблиця 1.13 – Розрахунок головних розмірів в другому наближенні

Назва головних розмірів судна, м	Формула	Значення
Довжина між перпендикулярами	$L_2 = \lambda \cdot L_1$	222,7
Ширина	$B_2 = \lambda \cdot B_1$	32,8
Осадка	$d_2 = \lambda \cdot d_1$	12,4
Висота борту	$D_2 = \lambda \cdot D_1$	19,2

На цьому розрахункова частина для визначення основних елементів та характеристик судна-проєкту в двох наближеннях завершено

1.4 Побудова теоретичного креслення судна

Для створення тривимірної моделі та теоретичного креслення використано програмне забезпечення «Maxsurf Modeler Advanced» методом лінійного та параметричного перетворення моделі судна-прототипу. Для оформлення теоретичного креслення та подальших креслень буде використано програмне забезпечення AutoCAD й оформлено в відповідності до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 3 (I...III);
- кількість ватерліній – 8 (0..7);
- кількість шпангоутів – 21 (0... 20);
- теоретична шпация $\Delta L = L_2/20 = 11,135$ м.

За отриманими даними побудовано: теоретичне креслення (24.ДРБ.135.4111.18.01), креслення загального розташування (24.ДРБ.135.4111.18.04) та гідростатичні криві (24.ДРБ.135.4111.18.02).

1.5 Побудова креслення загального розташування судна

Креслення будується у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення в середовищі AutoCAD з дотриманням всіх його характеристик (табл.1.14.).

На проекції «Вид бік» розташовано поперечні перебірки, друге дно, розміщено надбудову, леєрну огорожу, судові пристрої, навігаційні та ходові вогні, всі 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.

Таблиця 1.14 – Основні характеристики судна-проекту

№	Найменування	Розмірність	Позначення	Значення
1	Довжина найбільша	м	L_{OA}	238,7
2	Довжина між перпендикулярами	м	L_{BP}	222,7
3	Ширина	м	B	32,8
4	Висота борту	м	D	19,2
5	Осадка в повному вантажі	м	d	12,4
6	Водотоннажність	т	Δ	77213
7	Дедвейт при проектній осадці	т	DW	60922
8	Коефіцієнт загальної повноти	—	C_b або δ	0,826
9	Коефіцієнт повздовжньої повноти	—	C_p або φ	0,846

Продовження таблиці 1.14

№	Найменування	Розмірність	Позначення	Значення
10	Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	—	C_w або α	0,903
11	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	—	C_m або β	0,990
12	Швидкість експлуатаційна	вузли	v_e	14,8
13	Марка головного двигуна	7L60MC		
14	Потужність СЕУ на випробуваннях	кВт	N_b	11914
15	Потужність СЕУ експлуатаційна	кВт	N_e	10703
16	Частота обертання гребного гвинта	хв. ⁻¹	n	123
17	Екіпаж	осіб	—	31
18	Кількість вантажних трюмів	од.	—	7
19	Дальність плавання	миль	R	15000
20	Клас судна	DNVα1A1		

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. Через те, що довжина судна більша від діапазону в межах 165-185 м і розташування машинного відділення кормове, то загальну кількість водонепроникних перебірок приймаємо 10, як і у судна-прототипу.

Відстань між балками основного набору, яка приймається на підставі нормальної шпациї, що визначається за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 222,7 + 0,48 = 0,925 \text{ м}, \quad (1.26)$$

де L — довжина судна між перпендикулярами, табл.3.1.

Згідно [8, с.6; 8, с.16] дозволяється відхилення розрахованої шпациї від нормальної в межах $\pm 25\%$. Розраховану величину шпациї необхідно округлити:

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

взяти рівною величині стандартної шпациї згідно з ОСТ 5.1099-78. Ряд стандартних шпациї: 600, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 мм.

Обрано шпацию: 800 мм (поздовжній напрямок) та 700 мм (поперечний напрямок).

Правила рекомендують не застосовувати шпацию більше 1000 мм, а в форпіку й ахтерпіку взяти шпацию 600 мм. Крім того, в першому за форпіковою перегородкою відсіку на протязі $0,2L$ у корму від носового перпендикуляра шпация повинна бути 700 мм.

На навалочних суднах, з урахуванням характеристик вантажів, суцільні флори повинні бути розташовані через дві шпациї від форпікової до ахтерпікової перегородки, тому довжина відсіків береться кратною шпациї та двом шпациям.

Розбивку судна на відсіки за шпациями, які наведено в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Розбивка судна на відсіки

Шпация	Відсік	Довжина, м
302 – 324	Ахтерпик	$L_{\text{афт}} = 0,6 \cdot 22 = 13,2$
267 – 302	Машинне відділення	$L_{\text{мв}} = 0,7 \cdot 35 = 24,5$
231 – 267	Трюм №7	$L_{\text{трюм7}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
195 – 231	Трюм №6	$L_{\text{трюм6}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
159 – 195	Трюм №5	$L_{\text{трюм5}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
123 – 159	Трюм №4	$L_{\text{трюм4}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
87 – 123	Трюм №3	$L_{\text{трюм3}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
51 – 87	Трюм №2	$L_{\text{трюм2}} = 0,7 \cdot 36 = 25,2$
19 – 51	Трюм №1	$L_{\text{трюм1}} = 0,7 \cdot 32 = 22,4$
0 – 19	Форпик	$L_{\text{фрп}} = 0,6 \cdot 19 = 11,4$
Сума		$L = 222,7$

Підйому днища в цьому судні не буде, а радіус скули буде рівним висоті другого дна, який розраховується за формулою:

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{222,7 - 40}{570} + 0,04 \cdot 32,8 + 3,5 \cdot \frac{12,4}{222,7} = 1,827 \text{ м}, \quad (1.27)$$

Також є й інша формула згідно вимогам MARPOL:

$$h_{IIMARPOL} \geq \frac{B}{15}, \text{ або } 2 \text{ м залежно від того, що менше} \quad (1.28)$$

$$h_{IIMARPOL} = \frac{32,8}{15} \approx 2,186 \text{ м. Отже висота становить 2 метри.}$$

Прийнято $h_{II} = 2$ метри.

На відміну від застарілих однобортних суден, у даній роботі прийнято конструкцію з подвійними бортами й днищем, а також використання скулових та під палубних цистерн.

Внутрішній борт утворює гладку поверхню трюму, що для вантажу з питомим об'ємом $1,4 \text{ м}^3/\text{т}$ критично важливо, оскільки відсутність виступаючих шпангоутів усередині трюму виключає затримки залишків вантажу. Також завдяки цьому рішенню прискорюється процес вивантаження та миття трюмів й підвищується остійність. Коридор у під палубній цистерні забезпечує безпечне сполучення та пересування екіпажу між носовою та кормовими частинами судна, навіть в штурмових умовах.

Поєднання скулових та під палубних цистерн створює трапецієподібну форму трюму, що ідеально для навалочних вантажів: скулові цистерни спрямовують вантаж під дією гравітації безпосередньо к днищу, що зменшує ризик виникнення крену через розподіл вантажу к борту судна. Ширина між бортового простору становить 1,2 метра, бо типове значення для сучасних навалочних суден становить від 1,2 до 1,8 метра.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Положення центру маси (ЦМ) визначається розрахунком з використанням Loadcase в Maxsurf Stability Enterprise. При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка та постачання визначаються перерахунком із судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за залежностями:

$$X_{gi} = \frac{\bar{X}_{gi}}{L} \cdot L; Z_{gi} = \frac{Z_{gi}}{D} \cdot D \quad (1.29)$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 1.16 та 1.17 окремо для початку координат від міделя-шпангоута та від носового перпендикуляра. Це обумовлено тим, що в Maxsurf початок координат знаходиться саме на носовому перпендикулярі

Таблиця 1.16 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P , т	Плечі (від міделя)		Моменти	
			X_{gi}	Z_{gi}	$P_{xi} \cdot X_{gi}$	$P_{zi} \cdot Z_{gi}$
1	Водотоннажність порожнем	16291	-14,68	12,15	-239081	197947
2	Вантаж	58000	13,63	10,89	790608,8	631330,4
3	Постачання	352	-99,14	17,15	-34896,82	6038,422
4	Паливо	2569	-79,13	11,13	-203291,7	28593,16
Водотоннажність повна		≈ 77213	4,06	11,19	313339	86309

№	Назва	Маса P , т	Плечі (від носового перпендикуляра)		Моменти	
			X_{gi}	Z_{gi}	$P_{xi} \cdot X_{gi}$	$P_{zi} \cdot Z_{gi}$
1	Водотоннажність порожнем	16291	-126,03	12,15	-2053174	197946,6
2	Вантаж	58000	97,38	10,89	-5668011	631330,4
3	Постачання	352	-209,76	17,15	-74093,97	6038,422
4	Паливо	2569	-189,82	11,13	-489364,1	-28593,16
Водотоннажність повна		≈ 77213	-107,30	11,19	$-8 \cdot 10^6$	863909

Координати центрів вантажу, палива та баласту (за необхідності) приймаються за Loadcase. В програмному середовищі Maxsurf Modeler Advanced, за допомогою лінійних кривих, було спроектовано форму трюмів, скулових та під палубних цистерн на міделі. Далі цю поверхню розтягнуто на всю потрібну довжину судна, щоб отримати приблизно правдоподібні значення, які будуть використані й подалі. Схематично це все виглядає наступним чином.

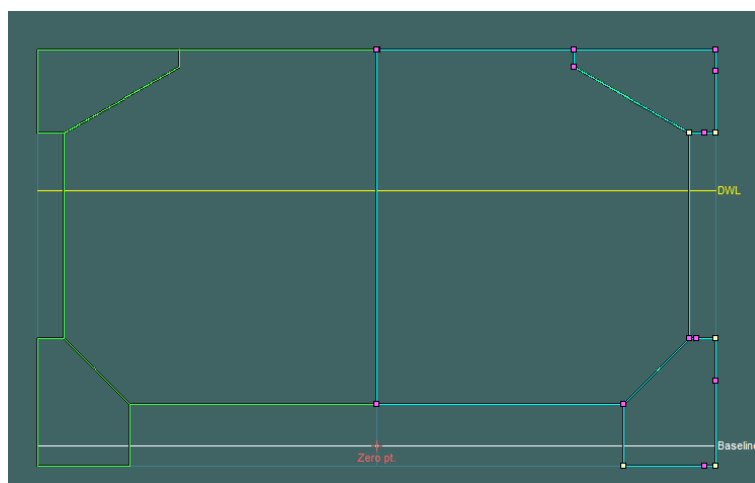


Рис. 1.3 – Схематичне розташування всіх цистерн й трюмів на міделі

При налаштуваннях розділу Room Definition важливо зауважити, що для паливних та баластних цистерн коефіцієнт проникності буде становити 95% відповідно. Це обумовлено тим, що в вище згаданих цистернах знаходяться шпангоути, ребра жорсткості, трубопроводи й інші системи, які необхідні для коректної роботи судна. А для трюмів коефіцієнт проникності залишається 100%, через гладку поверхню при використанні подвійних бортів й дна, під палубних та скулових цистерн.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою вікна Loadcase, які представлені в таблиці 1.17.

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 1.17 – Таблиця ємності (І-ий стан навантаження)

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	11599,000	11599,000			-115,240	0,000	10,740	-1336668,735	124573,255	0,000	User Specified
2	Engine	1	953,000	953,000			-199,510	0,000	10,070	-190133,039	9596,710	0,000	User Specified
3	Equipment	1	2967,000	2967,000			-144,460	0,000	18,330	-428612,795	54385,112	0,000	User Specified
4	Margine	1	772,000	772,000			-126,640	0,000	12,140	-97766,080	9372,080	0,000	User Specified
5	Total Lightship			16291,000			-126,032	0,000	12,149	-2053180,649	197927,157	0,000	
6	Hold 1	99%	6798,950	6730,961	9518,530	9423,345	-23,221	0,000	10,413	-156297,095	70089,629	0,000	User Specified
7	Hold 2	99%	8732,355	8645,032	12225,053	12102,803	-46,405	0,000	10,267	-401174,532	88762,364	0,000	User Specified
8	Hold 3	98%	8731,583	8556,951	12223,971	11979,492	-71,600	0,000	10,176	-612677,669	87071,649	0,000	User Specified
9	Hold 4	98%	8731,492	8556,862	12223,844	11979,367	-96,800	0,000	10,175	-828304,249	87069,969	0,000	User Specified
10	Hold 5	98%	8731,492	8556,862	12223,844	11979,367	-122,000	0,000	10,175	-1043937,166	87069,962	0,000	User Specified
11	Hold 6	97,44%	8731,489	8507,963	12223,841	11910,911	-147,200	0,000	10,127	-1252372,258	86160,007	0,000	User Specified
12	Hold 7	97,11%	8697,603	8446,416	12176,401	11824,747	-172,358	0,000	10,124	-1455810,786	85515,334	0,000	User Specified
13	Total Cargo	98,05%	59154,965	58001,048	82815,484	81200,031	-99,146	0,000	10,202	-5750573,754	591738,913	0,000	
14	DB 5 Port	68,23%	482,630	329,299	574,560	392,022	-122,000	-6,000	0,682	-40174,449	224,681	2822,460	IMO A.749(18)
15	DB 5 Stbd	68,23%	482,630	329,299	574,560	392,022	-122,000	6,000	0,682	-40174,449	224,681	2822,460	IMO A.749(18)
16	DB 6 Port	95%	482,390	458,270	574,274	545,560	-147,194	-5,997	0,951	-67454,693	435,589	2820,351	IMO A.749(18)
17	DB 6 Stbd	95%	482,390	458,270	574,274	545,560	-147,194	5,997	0,951	-67454,693	435,589	2820,351	IMO A.749(18)
18	DB 7 Port	95%	382,524	363,398	455,386	432,617	-170,773	-5,135	1,042	-62058,437	378,687	1991,563	IMO A.749(18)
19	DB 7 Stbd	95%	382,524	363,398	455,386	432,617	-170,773	5,135	1,042	-62058,436	378,687	1991,563	IMO A.749(18)
20	DB Eng Port	95%	140,575	133,546	167,351	158,984	-195,474	-1,953	1,051	-26104,799	140,325	222,338	IMO A.749(18)
21	DB Eng Stbd	95%	140,575	133,546	167,351	158,984	-195,474	1,953	1,051	-26104,799	140,325	222,338	IMO A.749(18)
22	Total Fuel	86,32%	2976,239	2569,027	3543,142	3058,366	-152,425	0,000	0,918	-391584,753	2358,584	15713,424	
23	Forepeak	0%	2993,391	0,000	2920,381	0,000	-9,183	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
24	DS 1 Port	0%	15,648	0,000	15,266	0,000	-24,839	-13,644	8,217	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
25	DS 1 Stbd	0%	15,649	0,000	15,267	0,000	-24,839	13,644	8,217	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
26	DS 2 Port	0%	193,612	0,000	188,889	0,000	-49,657	-15,709	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
27	DS 2 Stbd	0%	193,612	0,000	188,889	0,000	-49,657	15,709	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
28	DS 3 Port	0%	279,713	0,000	272,891	0,000	-71,598	-15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
29	DS 3 Stbd	0%	279,713	0,000	272,891	0,000	-71,598	15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
30	DS 4 Port	0%	279,694	0,000	272,872	0,000	-96,800	-15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
31	DS 4 Stbd	0%	279,694	0,000	272,872	0,000	-96,800	15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
32	DS 5 Port	0%	279,694	0,000	272,872	0,000	-122,000	-15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
33	DS 5 Stbd	0%	279,694	0,000	272,872	0,000	-122,000	15,772	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
34	DS 6 Port	0%	279,642	0,000	272,821	0,000	-147,158	-15,770	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
35	DS 6 Stbd	0%	279,642	0,000	272,821	0,000	-147,158	15,770	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
36	DS 7 Port	0%	233,672	0,000	227,973	0,000	-165,909	-15,616	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
37	DS 7 Stbd	0%	233,672	0,000	227,973	0,000	-165,909	15,616	5,200	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
38	TS 1 Port	0%	210,165	0,000	205,039	0,000	-33,673	-15,024	15,268	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
39	TS 1 Stbd	0%	210,165	0,000	205,039	0,000	-33,673	15,024	15,268	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
40	TS 2 Port	0%	420,060	0,000	409,814	0,000	-49,709	-15,703	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
41	TS 2 Stbd	0%	420,060	0,000	409,814	0,000	-49,709	15,703	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
42	TS 3 Port	0%	443,039	0,000	432,233	0,000	-71,600	-15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
43	TS 3 Stbd	0%	443,039	0,000	432,233	0,000	-71,600	15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
44	TS 4 Port	0%	442,995	0,000	432,190	0,000	-96,800	-15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
45	TS 4 Stbd	0%	442,995	0,000	432,190	0,000	-96,800	15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
46	TS 5 Port	0%	442,995	0,000	432,190	0,000	-122,000	-15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
47	TS 5 Stbd	0%	442,995	0,000	432,190	0,000	-122,000	15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
48	TS 6 Port	0%	443,018	0,000	432,213	0,000	-147,204	-15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
49	TS 6 Stbd	0%	443,018	0,000	432,213	0,000	-147,204	15,780	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
50	TS 7 Port	0%	443,876	0,000	433,050	0,000	-172,378	-15,786	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
51	TS 7 Stbd	0%	443,876	0,000	433,050	0,000	-172,378	15,786	15,167	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
52	BS 1 Port	0%	28,508	0,000	27,812	0,000	-33,673	-12,000	0,236	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
53	BS 1 Stbd	0%	28,508	0,000	27,812	0,000	-33,673	12,000	0,236	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
54	BS 2 Port	0%	339,958	0,000	331,686	0,000	-51,163	-12,998	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
55	BS 2 Stbd	0%	339,958	0,000	331,686	0,000	-51,163	12,998	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
56	BS 3 Port	0%	406,830	0,000	396,907	0,000	-71,600	-13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
57	BS 3 Stbd	0%	406,830	0,000	396,907	0,000	-71,600	13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
58	BS 4 Port	0%	406,690	0,000	396,771	0,000	-96,800	-13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
59	BS 4 Stbd	0%	406,690	0,000	396,771	0,000	-96,800	13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
60	BS 5 Port	0%	406,690	0,000	396,771	0,000	-122,000	-13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
61	BS 5 Stbd	0%	406,690	0,000	396,771	0,000	-122,000	13,158	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
62	BS 6 Port	0%	387,178	0,000	377,735	0,000	-143,303	-13,068	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
63	BS 6 Stbd	0%	387,178	0,000	377,735	0,000	-143,303	13,068	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
64	BS 7 Port	0%	118,078	0,000	115,198	0,000	-159,943	-12,000	0,129	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
65	BS 7 Stbd	0%	118,078	0,000	115,198	0,000	-159,943	12,000	0,129	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
66	DB 1 Port	0%	429,430	0,000	418,956	0,000	-24,998	-3,974	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
67	DB 1 Stbd	0%	429,430	0,000	418,956	0,000	-24,998	3,974	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
68	DB 2 Port	0%	588,771	0,000	574,411	0,000	-46,517	-5,939	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
69	DB 2 Stbd	0%	588,771	0,000	574,411	0,000	-46,517	5,939	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
70	DB 3 Port	0%	588,924	0,000	574,560	0,000	-71,600	-6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
71	DB 3 Stbd	0%	588,924	0,000	574,560	0,000	-71,600	6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
72	DB 4 Port	0%	588,924	0,000	574,560	0,000	-96,800	-6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
73	DB 4 Stbd	0%	588,924	0,000	574,560	0,000	-96,800	6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
74	Afterpeak	0%	5345,053	0,000	5214,686	0,000	-210,266	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	IMO A.749(18)
75	Total Ballast	0%	25734,051	0,000	25106,391	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
76	Supply	1	352,000	352,000			-210,490	0,000	17,150	-74092,480	6036,800	0,000	User Specified
77	Total Supply			352,000			-210,490	0,000	17,150	-74092,480	6036,800	0,000	
78	Total Loadcase			77213,075	111465,018	84258,397	-107,099	0,000	10,336	-8269431,635	798061,433	15713,424	
79	FS correction									0,204			
80	VCG fluid								10,539				

Примітка: DB – double bottom (подвійне дно); DS – double side (подвійний борт); BS – bottom side (скулова цистерна); TS – top side (під палубна цистерна); Port – лівий борт; Stbd (Starboard) – правий борт.

Таблиця 1.18 – Перевірка об'єму під вантаж і паливо

Вид	Маса, т	ПО, м ³ /т	Потрібний об'єм, м ³	Фактичний об'єм, м ³	Перевірка	Похибка. Повинна бути менше 5%
	P_i	μ_i	W_{pi}	W_{fi}	$W_{fi} \geq W_{pi}$	$\varepsilon = \frac{W_{fi} - W_{pi}}{W_{pi}} \cdot 100\%$
Вантаж	58000	1,40	81200	81200,03	Проходить	$3,69458 \cdot 10^{-5}$
Паливо	2569	$\approx 1,19$	$\approx 3057,11$	3058,366	Проходить	0,0410846

Примітка: ПО – питомий об'єм.

Завдяки цим даним зроблено висновок, що судно повністю вміщує в собі увесь вантаж та паливо з врахуванням всіх цистерн.

1.7 Удиферентування судна

В програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise розподілено вантаж і паливо таким чином, щоб був розміщений симетрично діаметральній площині (ДП), тому крен відсутній.

Для визначення диференту судна використовується той же програмний комплекс, в розділі Equilibrium. Розглянуто перший стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту, отримуючи дані з таблиці 1.17.

На рисунку 1.4 представлена візуалізація посадки судна, а на рисунку 1.5 та в таблиці 1.19 представлені всі розрахунки.

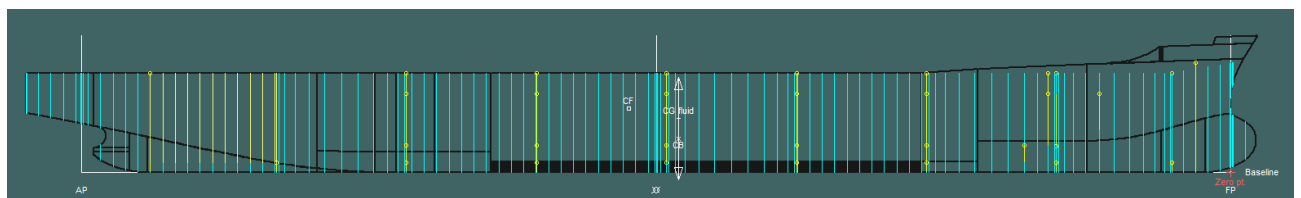


Рис. 1.4 – Удиферентоване судно у повному вантажі

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

1	Draft Amidships m	12,396
2	Displacement t	77214
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	12,396
5	Draft at AP m	12,396
6	Draft at LCF m	12,396
7	Trim (+ve by stern) m	0,000
8	WL Length m	233,495
9	Beam max extents on WL m	32,796
10	Wetted Area m ²	11365,059
11	Waterpl. Area m ²	6840,395
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,836
13	Block coeff. (Cb)	0,830
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,993
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,937
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-107,105
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-116,686
18	KB m	6,490
19	KG fluid m	10,539
20	BMT m	7,205
21	BML m	345,998
22	GMt corrected m	3,156
23	GML m	341,948
24	KMt m	13,695
25	KML m	352,488
26	Immersion (TPc) tonne/cm	70,114
27	MTc tonne.m	1185,594
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4252,972
29	Max deck inclination deg	0,0000
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

Рис. 1.5 – Результати розрахунків Equilibrium в Maxsurf Stability Enterprise

Таблиця 1.19 – Посадка судна у вікні Equilibrium (переклад)

№	Назва елементу (переклад)	Значення
1	Осадка на міделі, м	12,396
2	Водотоннажність, т	77214
3	Крен, град	0
4	Осадка на носовому перпендикулярі, м	12,396
5	Осадка на кормовому перпендикулярі, м	12,396
6	Осадка в центрі ваги судна, м	12,396
7	Диферент (+ на корму), м	0
8	Довжина по ватерлінії, м	233,495
9	Ширина ватерлінії, м	32,796
10	Площа змоченої поверхні, м ²	11365,059
11	Площа ватерлінії, м ²	6840,395
12	Коефіцієнт поздовжньої гостроти	0,836
13	Коефіцієнт загальної повноти	0,830
14	Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	0,993
15	Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	0,937

Продовження таблиці 1.19

№	Назва елементу (переклад)	Значення
16	Відстань ЦВ судна від нульової точки (абсциса центру величини (+ на ніс)), м	–107,105
17	Відстань ЦТ площі ватерлінії від нульової точки (абсциса центру ваги площі ватерлінії (+ на ніс)), м	–116,686
18	Апліката центру величини, м	6,490
19	Піднесення ЦТ судна на ОЛ (апліката центру ваги), м	10,539
20	Поперечний метацентричний радіус, м	7,205
21	Поздовжній метацентричний радіус, м	345,998
22	Поперечна метацентрична висота, м	3,156
23	Поздовжня метацентрична висота, м	341,948
24	Піднесення поперечного метацентра над ОЛ (апліката поперечного метацентра), м	13,695
25	Піднесення поздовжнього метацентра над ОЛ (апліката поздовжнього метацентра), м	352,488
26	Число тон на 1 см осадки, т/см	70,114
27	Момент, диферент на 1 см, т·м/см	1185,594
28	Момент, крен на 1 см, т·м/см	4252,972
29	Максимальний нахил палуби, град	0
30	Кут диферента (+ на корму), град	0

Примітка: ЦВ – центр ваги; ЦТ – центр тяжіння.

Таким чином, $X_c = -107,105$ м; $X_g = -107,3$ м.

Згідно з таблицею 1.19, розрахунковий стан має такі характеристики:

$T_n = 12,396$ – осадка носом, м; $T_k = 12,396$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0$ – диферент, м.

Для правильного удиферентування потрібно обов'язкове виконання наступних умов:

					24.ДРБ.135.4 111.18.ПЗ.01	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- $\Delta T \leq (0,006 \dots 0,008) \cdot L = 0,008 \cdot 222,7 = 1,7816$ – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води $\rightarrow 0 \text{ м} < 1,7816 \text{ м}$.

Умова задовольняє;

- $T_H \geq \left(\frac{L}{40}\right) = \frac{222,7}{40} = 5,5675 \text{ м}$ – умова відсутності слемінгу $\rightarrow 12,396 > 5,5675 \text{ м}$.

Умова задовольняє;

- $T_K \geq d_{ГВ}, d_{ГВ} = 0,7 \cdot d = 0,7 \cdot 12,4 = 8,68 \text{ м}$ – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості $\rightarrow 12,396 > 8,68 \text{ м}$.

Умова задовольняє;

- $T_K \geq T_H$ – умова забезпечення морехідних якостей $\rightarrow 12,396 \geq 12,396 \text{ м}$.

Умова задовольняє.

Отже, проєкт у повному вантажі удиферентовано!

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.01	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.02		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Перевірка морехідних якостей судна	Літ.	Арк.
Студент	Пастущак Д.В.						Аркуші
Консультант	Пашенко Ю.М.						
Керівник	Кротов О.І.					38	15
Зав. кафедри	Некрасов В.О.					НУК	

ПЕРЕВІРКА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА

2.1 Побудова гідростатичних кривих

Коли теоретичне креслення та 3D модель судна вже побудовані, то потрібно переходити до перевірки його морехідних якостей. Більша частина розрахунків буде виконана в програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise від компанії Bentley Engeneering. Всі характеристики плавучості та початкової остійності при відсутності диферента можуть використовуватися у вигляді кривих, які називаються гідростатичні криві.

Гідростатичні криві – це креслення, яке показує залежність морехідних значень від осадки. Серед значень, які будуть використані для побудови кривих, використано рекомендацію Регістру судноплавства України (PCY) [10]: водотоннажність (Displacement), об'ємна водотоннажність (Volume displaced), максимальна площа перерізу (Max sect. area), площа змоченої поверхні (Wetted area), всі коефіцієнти повноти ($\alpha, \beta, \delta, \varphi$), абсциса ЦВ (LCB from zero point), абсциса ЦТ площі ватерліній (LCF from zero point), апліката ЦВ (KB), апліката ЦТ (KG), поперечний метацентричний радіус (BMt), поздовжній метацентричний радіус (BML), поперечна метацентрична висота (GMt), поздовжня метацентрична висота (GML), апліката поперечного метацентру (KMt), апліката поздовжнього метацентру (KML), момент диференту на 1 см (MTc tonne).

В вихідних даних ставимо: осадку від 0,5 м до 12,4 м; LCG та VCG з таблиці 1.17 (-107,099 м та 10,539 м).

Результати розрахунків в графічній формі наведено на рисунках, а в табличній формі – нижче.

					24.ДРБ.135.4111.18.П3.02	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

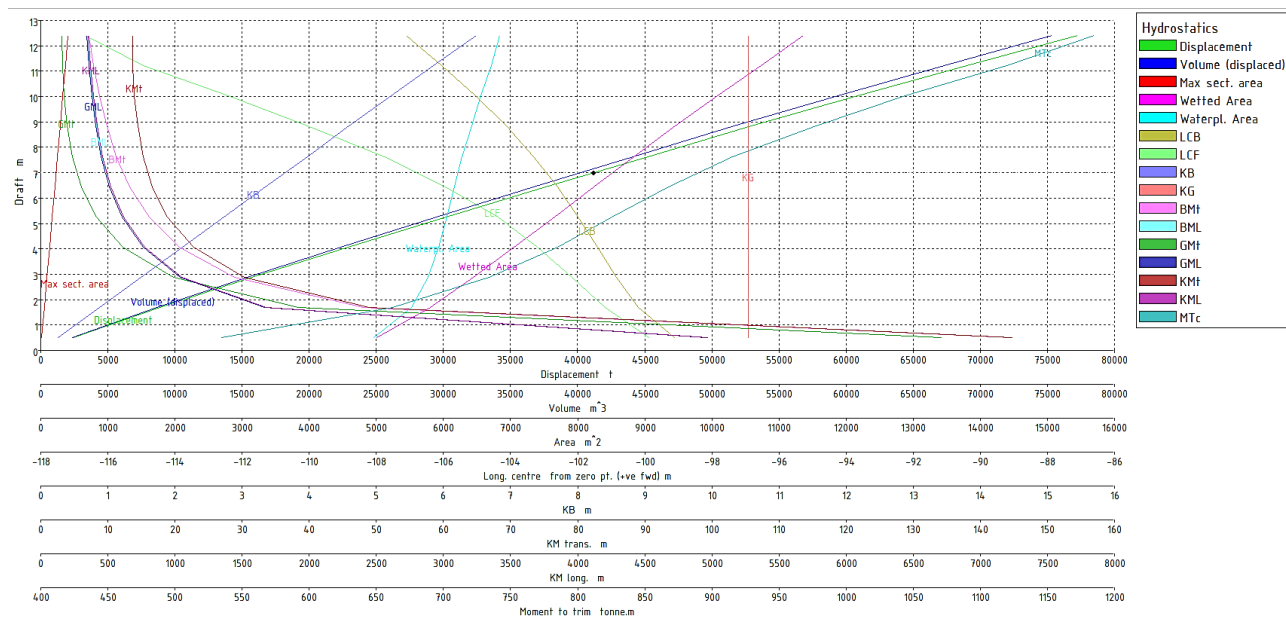


Рис. 2.1 Гідростатичні криві

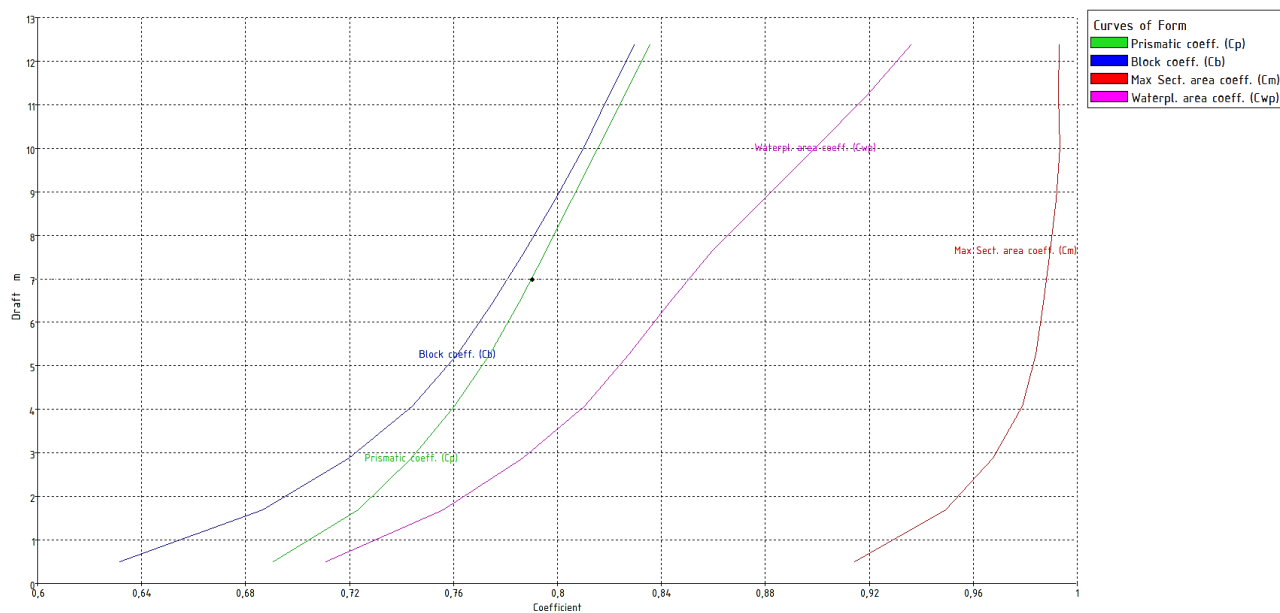


Рис. 2.2 Криві форми судна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.02

Арк.

40

Таблиця 2.1 – Результати кривих елементів

	Draft Amidships m	0,500	1,690	2,880	4,070	5,260	6,450	7,640	8,830	10,020	11,210	12,400
1	Displacement t	2403	8849	15747	22884	30190	37636	45223	52965	60877	68970	77241
2	Volume (displaced) m³	2343,95	8633,54	15362,9	22325,4	29453,6	36718,1	44119,9	51672,9	59392,3	67287,7	75356,6
3	Max sect. area m²	15,240	53,599	92,724	131,847	170,907	209,960	249,000	288,011	326,994	365,952	404,888
4	Wetted Area m²	5002,52	5808,19	6449,33	7055,68	7652,35	8240,69	8835,08	9456,48	10088,2	10739,0	11358,5
5	Waterpl. Area m²	4960,71	5520,86	5765,77	5926,66	6048,25	6160,85	6278,77	6418,05	6559,22	6710,15	6839,50
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,691	0,723	0,744	0,760	0,774	0,785	0,796	0,806	0,816	0,826	0,836
7	Block coeff. (Cb)	0,632	0,687	0,720	0,744	0,762	0,775	0,787	0,799	0,810	0,820	0,830
8	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,914	0,949	0,968	0,979	0,984	0,987	0,990	0,992	0,993	0,993	0,993
9	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,711	0,756	0,787	0,810	0,828	0,843	0,860	0,879	0,899	0,919	0,936
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-99,107	-100,20	-100,84	-101,41	-101,98	-102,60	-103,31	-104,12	-105,04	-106,05	-107,10
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-99,876	-101,18	-102,15	-103,19	-104,36	-105,95	-107,76	-110,05	-112,40	-114,93	-116,67
12	KB m	0,256	0,875	1,494	2,113	2,731	3,349	3,970	4,593	5,222	5,855	6,492
13	KG m	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539	10,539
14	BMt m	144,471	48,062	28,829	20,656	16,128	13,242	11,273	9,840	8,749	7,893	7,203
15	BML m	4968,18	1675,45	1047,48	772,743	616,844	520,746	457,431	416,959	387,189	366,217	345,703
16	GML m	134,188	38,397	19,784	12,229	8,320	6,052	4,704	3,895	3,432	3,209	3,156
17	GML m	4957,90	1665,79	1038,44	764,317	609,036	513,557	450,861	411,013	381,872	361,533	341,656
18	KMt m	144,727	48,936	30,323	22,768	18,859	16,591	15,243	14,434	13,971	13,748	13,695
19	KML m	4968,44	1676,32	1048,98	774,856	619,575	524,096	461,400	421,552	392,411	372,072	352,195
20	MTc tonne.m	534,874	661,932	734,278	785,374	825,630	867,907	915,548	977,513	1043,88	1119,66	1184,98

Отримані графіки оформлені згідно єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) й наведені в (24.ДРБ.135.4111.18.02).

2.2 Перевірка вимог до остійності за Регістром судноплавства України

2.2.1 Розрахунок амплітуди хитавиці

Перевірка остійності судна в цій роботі буде перевірятися тільки для першого стану завантаження (100% вантажу й 100% запасів). За даними креслення загального розташування знайдено аплікату центру парусності та її площа. Для побудови кривих статичної остійності цілого й пошкодженого судна, а також для перевірки вимог буде використано програмний комплекс Maxsurf Stability. Амплітуда хитавиці з круглою скулою, град [10, с. 522] знаходиться за формулою:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S}, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує вплив акулкових і/або брускового кілів і визначається до 2.1.5.2 [10, с. 522]; значення k приймається рівним 1, якщо кілі відсутні;

X_1 – безрозмірний множник, який визначається за табл. 2.2 в залежності від відношення ширини до осадки B/d ;

X_2 – безрозмірний множник, який визначається за табл. 2.3 в залежності від коефіцієнта загальної повноти судна C_b або δ ;

r – параметр, який визначається за формулою (2.2) та не повинен братися більше 1;

S – безрозмірний множник, що визначається за табл. 2.4 в залежності від району плавання судна і періоду хитавиці T , який розраховується за формулою (2.3).

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(z_g - d)}{d}, \quad (2.2)$$

де z_g – апліката центру тяжіння, значення яке знаходиться в табл. 1.17;

$d = 12,4$ – осадка судна, м.

$$T = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{h}, \quad (2.3)$$

де $c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L_{wl}}{100} = 0,333$; $B = 32,8$ – ширина судна, м;

h – виправлена метацентрична висота, м (з поправкою на вільні поверхні рідких вантажів); $L_{wl} = 233,5$ – довжина судна по ватерлінії, м.

Для того, щоб дізнатися виправлену метацентричну висоту, розрахуємо за критерію IMO A.749(18) Ch3 для всіх суден в Large Angle Stability й результат наведений на рисунку нижче.

40	A.749(18) Ch3	3.1.2.4: Initial GMT				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than (>=)	0,150	m	3,156	Pass	+2004,00
43							

Рис. 2.3 – Розрахунок виправленої метацентричної висоти

Таблиця 2.2 – Множник X_1

B/d	$\leq 2,4$	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	$\geq 6,5$
X_1	1,00	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,80	0,79	0,78	0,76	0,72	0,68	0,64	0,62

Значення $\frac{B}{d} = \frac{32,8}{12,4} \approx 2,65$, тому X_1 знаходиться за лінійною інтерполяцією:

$$X_1 = 0,96 + (2,65 - 2,6) \cdot \frac{0,93 - 0,96}{2,8 - 2,6} = 0,953$$

Таблиця 2.3 – 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

Підставивши в (2.2 та 2.3) відомі значення, знайдемо невідомі величини

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(z_g - d)}{d} = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(10,539 - 12,4)}{12,4} = 0,64;$$

$$T = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,333 \cdot 32,8 / \sqrt{3,156} = 12,312 \text{ с}$$

Таблиця 2.4 – Множник S

Район плавання судна	$T, \text{с}$									
	≤ 5	6	7	8	10	12	14	16	18	≥ 20
	0,10	0,100	0,098	0,093	0,079	0,065	0,053	0,044	0,038	0,035
Обмежений R1, R2, R2-S, R2-RS, A-R2, A-R2-S, A-R2-RS, B-R3-S, B-R3-RS, C-R3-S, C-R3-RS, D-R3-S, D-R3-RS, R3, R3-IN	0,10	0,093	0,083	0,073	0,053	0,040	0,035	0,035	0,035	0,035

Значення $T = 12,312$, тому S знаходиться за лінійною інтерполяцією:

$$S = 0,065 + (12,312 - 12) \cdot \frac{0,053 - 0,065}{14 - 12} = 0,063$$

Тепер, коли всі невідомі значення вже відомі, переходимо до знаходження амплітуди хитавиці, град (2.1):

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,953 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,64 \cdot 0,063} = 20,868$$

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

Для розрахунку кренувального моменту від тиску вітру, потрібно дізнатися площу парусності. Для вирішення цього питання було використано креслення загального розташування прототипу й схематично побудований в програмному середовищі Maxsurf Modeler Advanced (рис. 2.4) на площині (Бік) через те, що вітер буде направлений на борт. Там же, у вкладці Windage Surface було розраховано площу надводної частини судна й його координати (рис. 2.5), які знадобляться далі.

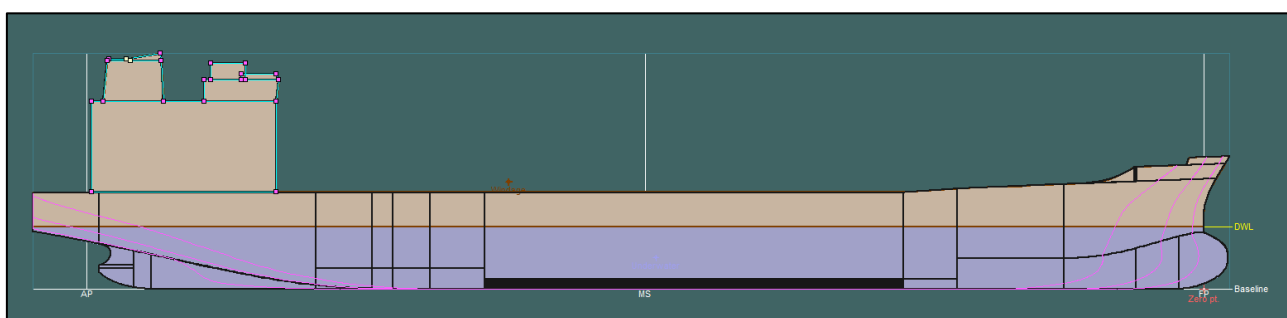


Рис. 2.4 – Надводні та підводні поверхні судна

Area						
	Surface	Above DWL 2D lateral proj. area m ²	LC area m	TC area m	VC area m	I - roll m ⁴
43	Фальшборт ніс	48,576	-5,045	0,000	23,138	
44	Фальшборт мік	1,816	-13,563	0,000	22,784	
45	Фальшборт ніс	11,467	0,770	0,000	25,492	
46	Надбудова	663,338	-203,375	0,000	28,225	
47	Сору of Надбудова	62,305	-192,069	0,000	39,388	
48	Сору of Сору of Надбудова	8,417	-188,305	0,000	42,083	
49	Сору of Сору of Сору of Н	23,242	-194,556	0,000	43,200	
50	Сору of Сору of Надбудова	93,065	-213,378	0,000	41,251	
51	Сору of Сору of Сору of Н	6,300	-211,345	0,000	45,818	
52	Total Above DWL 2D lateral	2609,142	-138,560	0,000	21,193	

Area:

Total

Above DWL

Below DWL

Projection:

☐ 3D true surface area

☒ 2D Lateral plane projected area

☐ 2D Frontal plane projected area

☐ 2D Horizontal plane projected area

Please refer to the manual for important information on how the projected areas are calculated.

Close

Рис. 2.5 – Дані надводних поверхонь судна

Кренувальне плече від тиску вітру l_{w1} , м приймається постійним для всіх кутів крену і розраховується за формулою:

$$l_{w1} = \frac{p_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot \Delta}, \quad (2.4)$$

де $p_v = 504$ кПа – тиск вітру для необмеженого району плавання [10, с.522]; $A = 2609,142$ м² – площа парусності (рис. 2.5); Z_B – відстань центра площі надводної поверхні (рис. 2.5, стовбець VC area), м; $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – прискорення вільного падіння; $Z_v = Z_B - \frac{d}{2} = 21,193 - \frac{12,4}{2} = 14,993$ м – плече парусності, яке береться рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності Z_B до центра площі проекції підводної частини корпусу на діаметральну площину, або, наближено, до середини осадки судна (обрано саме цей варіант); $\Delta = 77213$ т – водотоннажність судна.

А кренувальне плече l_{w2} визначається за формулою:

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} \quad (2.5)$$

Підставивши в (2.4; 2.5) маємо наступне:

$$l_{w1} = \frac{p_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = \frac{504 \cdot 2609,142 \cdot 14,993}{1000 \cdot 9,81 \cdot 77213} \approx 0,026 \text{ м};$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,026 \approx 0,039 \text{ м}$$

Тепер, коли всі значення відомі, можна у вкладці Criteria в Maxsurf Stability Enterprise вставити всі величини (рис. 2.6).

Criterion Details				
		A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships 3.2.2: Severe wind and rolling	Value	Units
1	☐	Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) c$		
2	☐	constant: $a =$	0,99966	
3	☐	wind model	Pressure	
4	☐	wind pressure: $P =$	504,0	Pa
5	☒	area centroid height (from zero point	21,193	m
6	☒	total area: $A =$	2609,142	m ²
7	☐	additional area: $A =$	50,000	m ²
8	☐	height of lateral resistance: $H =$	0,000	m
9	☒	$H = \text{mean draft} / 2$		m
10	☐	$H = \text{vert. centre of projected lat. u'w}$		m
11	☐	$H = \text{waterline}$		m
12	☐	cosine power: $n =$	0	

Рис. 2.6 – Заповнене вікно Criteria (в спрощеному вигляді)

Таблиця 2.7 – Перевірка вимог до остійності судна в не ушкоджені стані

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	91,3	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0,0550	m.rad	0,4952	Pass	+800,38
8							
9	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	91,3	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,0900	m.rad	0,8922	Pass	+891,38
17							
18	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	91,3	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0,0300	m.rad	0,3970	Pass	+1223,39
26							
27	A.749(18) Ch3	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	2,476	Pass	+1138,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	44,5		
36							
37	A.749(18) Ch3	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	44,5	Pass	+78,18
39							
40	A.749(18) Ch3	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	3,156	Pass	+2004,00
43							
44	A.749(18) Ch3	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
45		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$					
46		constant: a =	0,99966				
47		wind pressure: P =	504,0	Pa			
48		area centroid height (from zero point): h =	21,193	m			
49		total area: A =	2609,142	m ²			
50		H = mean draft / 2	6,198	m			
51		cosine power: n =	0				
52		gust ratio	1,5				
53		Area2 integrated to the lesser of					
54		roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24	deg	-24,5		
55		Area 1 upper integration range, to the lesser of:					
56		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
57		first downflooding angle	n/a	deg			
58		angle of vanishing stability (with gust heel arm)	90,8	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
61		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdg				
62		Criteria:				Pass	
63		Angle of steady heel shall not be greater than ($\leq$)	16,0	deg	0,5	Pass	+96,99
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than ($\leq$)	80,00	%	2,15	Pass	+97,31
65		Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100,00	%	383,17	Pass	+283,17
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,026		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,5		
69		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,7		
70		Deck edge immersion angle		deg	22,5		
71		Area1 (under GZ), from 0,7 to 50,0 deg.		m.rad	1,3210		
72		Area1 (under HA), from 0,7 to 50,0 deg.		m.rad	0,0336		
73		Area1, from 0,7 to 50,0 deg.		m.rad	1,2875		
74		Area2 (under GZ), from -24,5 to 0,7 deg.		m.rad	-0,3188		
75		Area2 (under HA), from -24,5 to 0,7 deg.		m.rad	0,0172		
76		Area2, from -24,5 to 0,7 deg.		m.rad	0,3360		

Згідно з завданням, також треба перевірити остійність судна в аварійному стані (пошкоджене машинне відділення). Коефіцієнт проникності машинного відділення в пошкодженному стані рівний 0,85 [10, с. 624]. Тому, наведено нижче окремо результати рівноваги судна, статичної остійності та перевірки вимог до остійності.

Варто зауважити, що для пошкодженого стану перевіряється як за вимогами IMO A.749(18) Ch3 так й за MARPOL 2007 MEPC.117(52) Regulation 28 – Damage Stability.

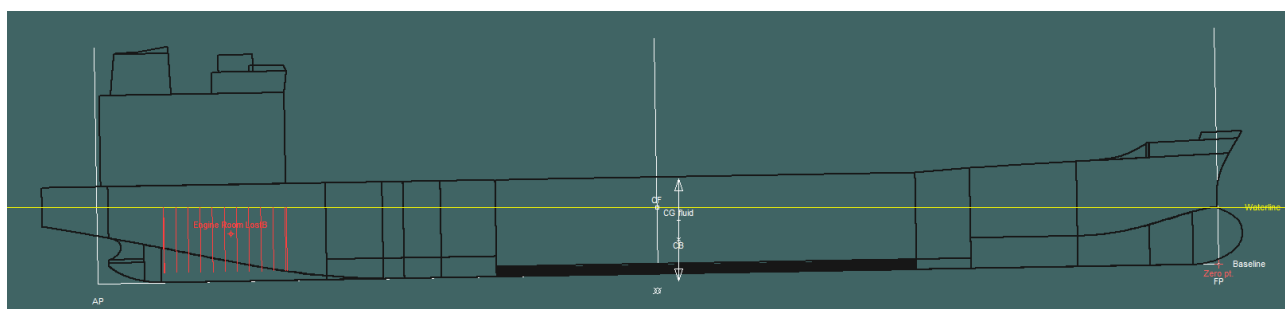


Рис. 2.8 – Рівновага судна в пошкодженному стані

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків Equilibrium пошкодженого судна

1	Draft Amidships m	13,145
2	Displacement t	77214
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	11,191
5	Draft at AP m	15,099
6	Draft at LCF m	13,145
7	Trim (+ve by stern) m	3,908
8	WL Length m	233,605
9	Beam max extents on WL m	32,779
10	Wetted Area m ²	11841,220
11	Waterpl. Area m ²	6356,626
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,752
13	Block coeff. (Cb)	0,694
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,923
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,871
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-107,164
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-111,327
18	KB m	6,818
19	KG fluid m	10,539
20	BMT m	6,807
21	BML m	329,252
22	GMt corrected m	3,086
23	GML m	325,530
24	KMT m	13,624
25	KML m	336,020
26	Immersion (TPc) tonne/cm	65,155
27	MTc tonne.m	1128,669
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4158,073
29	Max deck inclination deg	1,0052
30	Trim angle (+ve by stern) deg	1,0052

Таблиця 2.9 – Таблиця з ординатами з діаграми статичної 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	-1,746	-1,218	-0,554	0,000	0,554	1,218	1,746	2,003	1,977	1,669	1,187	0,606	-0,019	-0,641	-1,212
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,4621	0,2016	0,0467	0,0000	0,0468	0,2013	0,4633	0,7945	1,1460	1,4675	1,7186	1,8762	1,9277	1,8696	1,7073
3	Displacement t	77213	77213	77213	77213	77213	77215	77213	77207	77205	77206	77213	77213	77213	77213	77213
4	Draft at FP m	11,285	11,280	11,221	11,195	11,217	11,284	11,284	11,560	12,052	12,747	14,023	17,613	n/a	-3,405	-7,000
5	Draft at AP m	15,373	14,890	15,034	15,095	15,039	14,886	15,374	16,766	19,199	23,143	30,634	52,345	n/a	31,853	10,202
6	Trim (+ve by stern) m	4,089	3,610	3,813	3,899	3,822	3,602	4,089	5,206	7,147	10,396	16,611	34,732	n/a	35,258	17,202
7	WL Length m	233,819	233,572	233,534	233,596	233,545	233,565	233,819	233,882	233,990	234,545	237,067	238,385	238,562	238,030	236,325
8	Beam max extents on WL m	34,632	34,846	33,261	32,779	33,261	34,846	34,632	31,887	28,769	26,729	25,342	24,599	25,154	25,954	26,307
9	Wetted Area m²	12625,2	12038,5	11849,1	11840,9	11849,3	12038,1	12625,2	13061,9	13289,3	13402,4	13477,6	13543,2	13573,3	13607,8	13631,2
10	Waterpl. Area m²	6015,12	6556,09	6452,93	6356,44	6453,12	6556,55	6015,11	5561,54	4951,71	4476,24	4174,77	4008,24	3966,80	4038,12	4232,21
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,768	0,759	0,754	0,752	0,754	0,759	0,768	0,777	0,786	0,794	0,800	0,806	0,810	0,815	0,820
12	Block coeff. (Cb)	0,500	0,544	0,634	0,694	0,634	0,544	0,500	0,502	0,524	0,546	0,573	0,603	0,577	0,532	0,515
13	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-107,15	-107,16	-107,16	-107,15	-107,17	-107,15	-107,15	-107,17	-107,19	-107,21	-107,21	-107,23	-107,24	-107,25	-107,24
14	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-102,29	-108,26	-111,24	-111,32	-111,25	-108,27	-102,29	-99,929	-99,060	-98,009	-97,248	-96,807	-96,537	-96,780	-97,800
15	MTc tonne.m	1015,53	1117,83	1145,21	1128,55	1145,33	1117,99	1015,53	924,148	836,110	771,625	728,129	702,795	698,595	712,667	747,450
16	Max deck inclination deg	30,0125	20,0183	10,0461	1,0031	10,0463	20,0182	30,0125	40,0109	50,0102	60,0090	70,0068	80,0037	90,0000	99,9962	109,992
17	Trim angle (+ve by stern) deg	1,0518	0,9287	0,9808	1,0031	0,9832	0,9267	1,0520	1,3392	1,8381	2,6727	4,2658	8,8643	90,0000	8,9965	4,4170

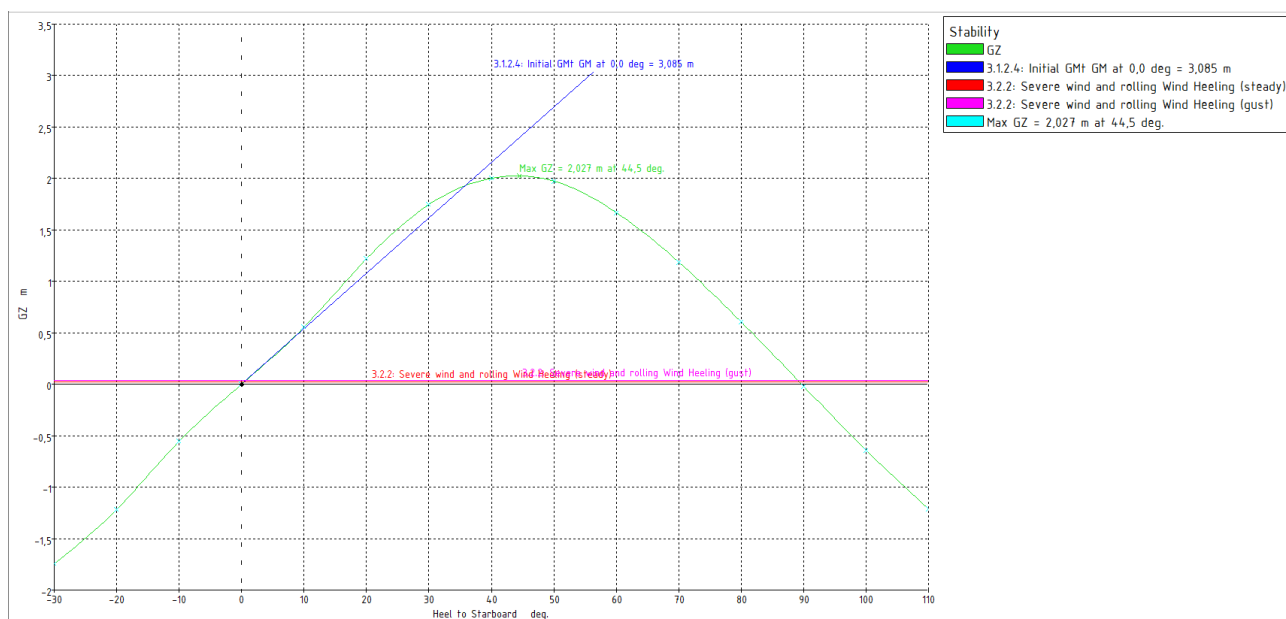


Рис. 2.9 – Діаграма статичної остійності пошкодженого судна з Maxsurf Stability Enterprise

Таблиця 2.10 – Перевірка вимог до остійності в пошкодженому стані

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	89,7	deg			
7		shall not be less than (>=)	0,0550	m.rad	0,4633	Pass	+742,38
8							
9	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	89,7	deg			
16		shall not be less than (>=)	0,0900	m.rad	0,7945	Pass	+782,77
17							
18	A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	89,7	deg			
25		shall not be less than (>=)	0,0300	m.rad	0,3312	Pass	+1003,90
26							
27	A.749(18) Ch3	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
33		shall not be less than (>=)	0,200	m	2,027	Pass	+913,50
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	44,5		
36							
37	A.749(18) Ch3	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (>=)	25,0	deg	44,5	Pass	+78,18
39							
40	A.749(18) Ch3	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than (>=)	0,150	m	3,085	Pass	+1956,67
43							
44	A.749(18) Ch3	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
45		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$					
46		constant: a =	0,99966				
47		wind pressure: P =	504,0	Pa			
48		area centroid height (from zero point): h =	21,193	m			
49		total area: A =	2609,142	m ²			
50		H = mean draft / 2	6,573	m			
51		cosine power: n =	0				
52		gust ratio	1,5				
53		Area2 integrated to the lesser of					
54		roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24	deg	-24,5		
55		Area 1 upper integration range, to the lesser of:					
56		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
57		first downflooding angle	n/a	deg			
58		angle of vanishing stability (with gust heel arm)	89,1	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
61		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdg				
62		Criteria:				Pass	
63		Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	0,5	Pass	+96,94
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	3,22	Pass	+95,97
65		Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	343,24	Pass	+243,24
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,025		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,5		

Продовження таблиці 2.10

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
78	Regulation 28	28.3.2 Equi heel <= 25 or <= 30 if no DE immersion				Pass	
79		Ratio of equilibrium heel angle to the lesser of:					
80		spec. heel angle	25,0	deg	25,0		
81		shall not be greater than (<=)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00
82		or					
83		Ratio of equilibrium heel angle to the lesser of:					
84		spec. heel angle	30,0	deg			
85		angle of deck edge immersion	15,2	deg	15,2		
86		shall not be greater than (<=)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00
87		Intermediate values					
88		Equilibrium angle		deg	0,0		
89							
90	Regulation 28	28.3.3 Range of positive stability including DF				Pass	
91		from the greater of					
92		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
93		to the lesser of					
94		first downflooding angle	n/a	deg			
95		angle of vanishing stability	89,7	deg	89,7		
96		shall not be less than (>=)	20,0	deg	89,7	Pass	+348,49
97							
98	Regulation 28	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
99		in the range from the greater of					
100		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
101		to the lesser of					
102		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,	deg	20,0		
103		angle of max. GZ	44,5	deg			
104		first downflooding angle	n/a	deg			
105		shall not be less than (>=)	0,100	m	1,218	Pass	+1118,00
106		Intermediate values					
107		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
108							
109	Regulation 28	28.3.3 Area under GZ curve				Pass	
110		from the greater of					
111		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
112		to the lesser of					
113		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,	deg	20,0		
114		first downflooding angle	n/a	deg			
115		angle of vanishing stability	89,7	deg			
116		shall not be less than (>=)	0,0175	m.rad	0,2013	Pass	+1050,08

2.2.4 Розрахунок критерій погоди

Критерій погоди – це відношення перекидального моменту до кренувального моменту від тиску вітру.

Якщо площа *b* дорівнює або більша площі *a* (табл. 2.7; 76 рядок), то остійність судна за критерієм погоди, вважається достатньою, тобто $K \geq 1$. Де площа *b* (табл. 2.7; 73 рядок) обмежена кривою відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу і кутом крену.

Критерій погоди розраховується за формулою:

$$K = \frac{b}{a} = \frac{1,2875}{0,3360} \approx 3,832 \quad (2.6)$$

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.02	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Відповідність вимогам Правил Регістру судноплавства України до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Перевірка критерії погоди

Критерій	Дійсне значення	Вимога РСУ
K	3,832	$K \geq 1$
l_{max} , м	2,476	$l_{max} \geq 0,2$
θ_{max} , град	44,5	$\theta_{max} \geq 30$
$\theta_{зак}$, град	91,309	$\theta_{зак} \geq 60$
h , м	3,156	$h \geq 0,15$
S_{30} , м · рад	0,4952	$S_{30} \geq 0,055$
S_{40} , м · рад	0,8922	$S_{40} \geq 0,09$
S_{30-40} , м · рад	0,3970	$S_{30-40} \geq 0,03$

Далі виконується експорт, діаграми статичної остійності з програми Maxsurf Stability Enterprise у середовище AutoCAD. Редагуємо його та оформлюється відповідності до ЄСКД (24.ДРБ.135.4111.18.03).

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Надiр конструктивного мiдель-шпангоуту	Лiт.	Арк.
Студент	Пастущак Д.В.						Аркушiв
Консультант	Шарун г.в.					53	5
Керiвник	Кротов О.І.					НУК	
Зав. кафедри	Некрасов В.О.						

НАБІР КОНСТРУКТИВНОГО МІДЕЛЬ-ШПАНГОУТУ

3.1 Загальні відомості про судно, що проєктується

У даному розділі визначається розміри в'язей корпусу навалочного судна за «Правилами класифікації та побудови морських суден» [10], а також використано інші джерела для уточнення деяких деталей [1,2,3].

3.1.1 Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проєктоване судно за архітектурно-конструктивним типом є однопалубним й двобортним судном. Надбудова та машинне відділення (МВ), розташоване в кормі, а також використовується підпалубні та скулові цистерни. Дане судно має носовий бульб, який гасить основну хвилю судна, тим самим зменшуючи опір, підтримувати швидкість й зменшувати витрату палива, що є ключовим фактором енергоефективності в 2026 році.

Розташування надбудови та МВ в кормі дозволяє виділити найбільш оптимально середню частину корпусу під вантажні трюми, що максимізує вантажомісткість і спрощує конструкцію вантажного району. Кількість трюмів становить 7 одиниць. Це дозволяє забезпечити необхідну жорсткість та гнучкість при завантаженні (можливість завантаження через один трюм для врегулювання диференту або забезпечення поздовжньої міцності в порту).

На відміну від застарілих однобортних суден, у даній роботі прийнято конструкцію з подвійними бортами й днищем. Внутрішній борт утворює гладку поверхню трюму, що для вантажу з питомим об'ємом $1,4 \text{ м}^3/\text{т}$ критично важливо, оскільки відсутність виступаючих шпангоутів усередині трюму виключає затримки залишків вантажу. Також завдяки цьому рішенню прискорюється процес вивантаження та миття трюмів й підвищується остійність. Ширина між бортового простору становить 1,2 метра. Коридор у підпалубній цистерні забезпечує безпечне сполучення та пересування екіпажу між носовою та кормовими частинами судна, навіть в штурмових умовах.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Типовий переріз мідель-шпангоута навалочного судна буде виглядати, згідно [11, с.18], наступним чином.

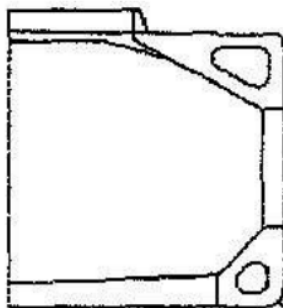


Рис. 3.1 Типовий переріз мідель-шпангоуту навалочного судна з двобортною конструкцією

Відповідно до вимог класифікаційного товариства здійснено:

3.1 Вибір шпаций судна, системи набору перекриттів корпусу судна, марки й категорії сталі, креслення обводів мідель-шпангоуту, виконано також врахування зносу і корозії в'язей корпусу;

3.2 Визначення розрахункових навантажень, що діють на корпус судна, як зовнішніх, так і викликаних вантажем, що перевозиться;

3.3 Загальна поздовжня міцність судна

3.4 Проєктування елементів корпусу судна за Правилами Регістру: зовнішня обшивка корпусу, настил верхньої палуби, настил внутрішнього дна, конструкція набору подвійного дна, конструкція флорів, конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів, балок основного набору

3.5 Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної поздовжньої міцності.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Таблиця 3.20 – Розрахунок еквівалентного бруса

№	Найменування	Товщина / Профіль	Ширина / Кількість	F _i	Z _i	F _i Z _i	FrZ _i ²	I _i	Zi-e	σ _{пр}	σ _{пер}
	Розмірність	мм	мм	см ²	м	см ² ·м	см ² ·м ²	см ² ·м ²	м	МПа	МПа
1	Днищева обшивка	18	12320	2217,600	0,000	0,000	0,000	0,000	-8,498	190,305	-182,984
2	Горизонтальний кіп	20	1000	200,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-8,498	190,305	-182,984
3	Скловий лист	16	5370	859,200	0,902	774,998	699,049	2064,722	-7,596	170,105	-163,561
4	Вертикальний кіп (ВК)	9	2000	180,000	1,000	180,000	180,000	60,000	-7,498	167,910	-161,450
5	Днищевий стрингер (4 шт.)	14	2000	1120,000	1,000	1120,000	1120,000	93,333	-7,498	167,910	-161,450
6	Настил другого дня	14	12000	1680,000	2,000	3360,000	6720,000	0,000	-6,498	145,515	-139,917
7	Похилий лист скулової цистерни	14	4525	633,500	3,350	2122,225	7109,454	1080,942	-5,148	115,282	-110,847
8	Р.Ж. днищеві обшивки	P206	12	376,800	0,121	45,593	5,517	1,518	-8,377	187,596	-180,378
9	Р.Ж. настилу другого дня	P206	11	345,400	1,879	649,007	1219,483	1,392	-6,619	148,225	-142,522
10	Р.Ж. вертикального кіпа	P206	1	31,400	1,000	31,400	31,400	0,127	-7,498	167,910	-161,450
11	Р.Ж. Днищевих стрингерів	P206	8	251,200	1,000	251,200	251,200	1,012	-7,498	167,910	-161,450
12	Р.Ж. скулового листа	P206	8	251,200	1,638	411,481	674,030	1,012	-6,860	153,621	-147,711
13	Р.Ж. похилого листа скулової цистерни	P206	5	157,000	3,511	551,211	1935,248	0,633	-4,987	111,679	-107,382
14	Платформа біля скулової цистерни	16	1600	256,000	5,200	1331,200	6922,240	0,000	-3,298	73,851	-71,010
15	Р.Ж. платформи під №13	P206	1	31,400	5,079	159,481	810,002	0,127	-3,419	76,561	-73,615
16	Зовнішня обшивка (З.О.) борту нижче КВЛ	14	9200	1288,000	8,210	10574,480	86816,481	9084,693	-0,288	6,442	-6,194
17	Внутрішня обшивка борту нижче КВЛ	14	7475	1046,433	8,937	9352,242	83583,418	4871,881	0,440	-9,845	9,466
18	Зовнішня обшивка (З.О.) борту вище КВЛ	16	5400	864,000	15,510	13400,640	207843,926	2099,520	7,012	-157,042	151,000
19	Внутрішня обшивка борту вище КВЛ	16	2492	398,771	13,921	5551,166	77276,009	206,419	5,423	-121,449	116,777
20	Р.Ж. зовнішньої обшивки борту	P206	12	376,800	10,183	3837,113	39074,930	1,518	1,686	-37,753	36,301
21	Р.Ж. внутрішньої обшивки борту	P206	12	376,800	10,183	3837,113	39074,930	1,518	1,686	-37,753	36,301
22	Похилий лист підпалубної цистерни	16	4066	650,560	14,206	9242,142	131297,930	896,274	5,709	-127,849	122,930
23	Похилий лист карлінгса	26	2400	624,000	17,115	10679,791	182785,160	299,520	8,617	-192,987	185,563
24	Вертикальна стінка коридору №1	16	3571	571,360	17,414	9949,869	173270,596	607,167	8,917	-199,691	192,008
25	Вертикальна стінка коридору №2	16	2647	423,520	17,876	7570,945	135340,033	247,287	9,379	-210,034	201,954
26	Платформа коридору	16	1600	256,000	16,970	4344,320	73723,110	54,613	8,472	-189,739	182,439
27	Платформа підпалубної цистерни	16	1200	192,000	15,167	2912,033	44166,343	23,040	6,669	-149,357	143,611
28	Ширстрек	26	2060	535,600	19,112	10236,457	195640,494	189,406	10,614	-237,712	228,567
29	Верхня палуба	26	5600	1456,000	19,200	27955,200	536739,840	3805,013	10,702	-239,680	230,459
30	Карлінгс	26	800	208,000	18,800	3910,400	73515,520	11,093	10,302	-230,722	221,846
31	Р.Ж. похилого листа підпалубної цистерни	P206	7	219,800	16,839	3701,168	62323,232	0,886	8,341	-186,801	179,614
32	Р.Ж. платформи під №26	P206	1	31,400	16,849	529,059	8914,108	0,127	8,351	-187,029	179,834
33	Р.Ж. платформи під №27	P206	1	31,400	15,046	472,439	7108,247	0,127	6,548	-146,647	141,005
34	Р.Ж. З.О. підпалубної цистерни	P206	5	157,000	17,187	2698,334	46375,833	0,633	8,689	-194,595	187,109
35	Р.Ж. вертикальної стінки №24	P206	4	125,600	17,581	2208,128	38820,310	0,506	9,083	-203,414	195,588
36	Р.Ж. вертикальної стінки №25	P206	2	62,800	18,276	1147,748	20976,516	0,253	9,779	-218,992	210,567
37	Р.Ж. верхньої палуби	P206	6	188,400	19,079	3594,484	68579,153	0,759	10,581	-236,970	227,853
Сума				18674,944		158693,066	2386630,811				

Важливо зауважити, що у зв'язку з тим, що раніше розрахункові товщини верхньої палуби, ширстрека, а само собою карлінгса, напруження переходять максимально допустиму межу, а саме $\sigma = 175/\eta = 175/0,68 = 257,353$ МПа.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03

Арк.

56

Тому прийнято рішення збільшити товщини вище згаданих листів до 26 мм, щоб відповідати умові допустимих напружень. А для зон, де приймає участь комінгс збільшено до 26 мм й пояску – до 28 мм.

Нейтральна вісь:

$$e = \frac{B}{A} = \frac{158693,066}{18674,944} \approx 8,50 \text{ м}$$

Момент інерції вузла відносно нейтральної вісі:

$$I = \frac{C - e^2 \cdot A}{10^4} \cdot 2 = \frac{2386630,811 - 8,48^2 \cdot 18674,944}{10^4} \cdot 2 \approx 207,6277 \text{ м}^4$$

Фактичний момент опору днища відносно нейтральної вісі:

$$W_{\text{днища}} = \frac{I}{e} = \frac{207,6277}{8,50} = 24,433 \text{ м}^3$$

Фактичний момент опору верхньої палуби відносно нейтральної вісі:

$$W_{\text{палуби}} = \frac{I}{(D - e)} = \frac{207,6277}{(19,2 - 8,5)} = 19,4 \text{ м}^3$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і дна порівнюємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру. Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо $W_{\text{днища}}^{\phi} \geq W_d$; $W_{\text{палуби}}^{\phi} \geq W_b$; $I^{\phi} \geq I_{\min}$.

$$W_{\text{днища}}^{\phi} \geq W_d = 24,433 \text{ м}^3 \geq 18,068 \text{ м}^3; W_{\text{палуби}}^{\phi} \geq W_b = 19,4 \text{ м}^3 \geq 18,068 \text{ м}^3$$

$$I^{\phi} \geq I_{\min} = 207,6277 \text{ м}^4 \geq 167,015 \text{ м}^4$$

Висновок: з отриманих результатів можна зробити висновок, що загальна міцність судна забезпечена!

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВОК

Згідно з завданням, виданим кафедрою теорії та проєктування суден, був виконан розрахунок основних елементів і характеристик навалочного судна класу DNVα1A1 для перевезення навалочних вантажів з питомим об'ємом вантажу $\mu_v = 1,40 \text{ м}^3/\text{т}$.

На прикладі розробки початкового проєкту навалочного судна було продемонстровано вміння використовувати набуті знання під час вивчення дисциплін корабельного циклу, таких як основи проєктування суден, теорія корабля та конструкція корпусу корабля.

Виконання цієї роботи дозволило закріпити основні навички пов'язані з проєктуванням судна, отриманням елементів кривих теоретичного креслення, набору корпусу судна за Правилами Регістру та перевірки міцності елементів корпусу судна.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. DNV Rules for classification: Ships (Part 3 Chapter 1) – Hull structural design, ships with length 100 meters and above. – Høvik: DNV GL AS, 2016. – 187 p.
2. DNV Rules for classification: Ships (Part 3 Chapter 15) – Stability. – Høvik: DNV GL AS, 2017. – 18 p.
3. IACS Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers. – London: IACS, 2024. – 806 p.
4. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи проектування суден». – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
5. Горбов В.М., Шаповалов Ю.О., Ратушняк І.О. Головні двигуни сучасних транспортних суден: навч. посібник, Миколаїв: УДМТУ, 1998. 72 с.
6. ДСТУ 8817:2018. Прокат конструкційний з нелегованої та легованої сталі для мостобудування. Технічні умови. – Київ, 2019. – 32 с.
7. Кротов О.І., Голіков В.І., Єганов О.Ю., Бондаренко О.В. Проектування морських транспортних суден – Миколаїв; НУК, 2002. – 147 с.
8. 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.
9. Матвєєв В.Г., Шарун Г.В. Проектування конструктивного мідель-шпангоута навалочних суден: Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2004. – 68 с.
10. Правила класифікації та побудови морських суден, Том 2. Регістр Судноплавства України. – Київ, 2020. – 792 с.
11. Правила огляду суден (ПОС) Частина І, ІІ, ІІІ. Додатки 1-7. Регістр Судноплавства України. – Київ, 2024. – 532 с.
12. Расчет ходкости надводных и водоизмещающих судов: Учебное пособие / Н.Б. Слижевский, Ю.М. Король, М.Г. Соколик, В.Ф. Тимошенко; Под общ. ред. проф. Н.Б. Слижевского. – Николаев: НУК, 2004. – 192 с.

					24.ДРБ.135.4111.18.ПЗ.03	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59