

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

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

Кафедра теорії та проєктування суден
(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

др-техн. наук, професор

 В.О. Некрасов

«12» 06 2026 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Проект танкера вантажопідйомністю 43000 тон

Виконав: студент 4 курсу, групи 4111

Спеціальність: 135 «Суднобудування»
(шифр і назва спеціальності)

 Сідільов Е.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник

 Кротов О.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

 Шарун Г.В.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2026 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

Кафедра: теорії та проєктування суден

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 135 «Суднобудування»

Освітньо-професійна програма: «Кораблебудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Кораблебудування»

Астахова ст. вик. Астахова А.О.

« 12 » 02 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Сідільов Едуард Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проект танкера вантажопідйомністю 43000 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): 43000 тонн

3.2 Вид вантажу (питомий об'єм вантажу): 0,75 м³/т

3.3 Швидкість експлуатаційна: 14,9 вуз

3.4 Клас судна за Правилами класифікаційного товариства: _____

3.5 Дальність та район плавання: 12750 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.

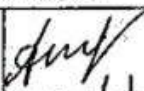
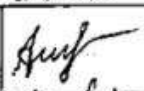
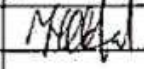
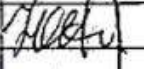
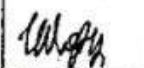
5.2 Гідростатичні криві.

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

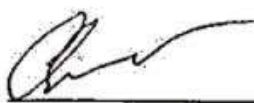
№	Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
			завдання видав		завдання прийняв	
1	Проектування судна	ст. викл. Астахова А.О.	05.02.26		05.02.26	
2	Теорія корабля	доц. Пащенко Ю.М.	27.03.26		27.03.26	
3	Конструкція корпусу корабля	ст. викл. Шарун Г.В.	28.04.26		28.04.26	

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	15.02.26	
2	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна	26.02.26	
3	Побудова теоретичного креслення	19.03.26	
4	Побудова гідростатичних кривих	31.03.26	
5	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна	27.04.26	
6	Розрахунок конструктивного мідель-шпангоуту	10.05.26	
7	Перевірка загальної поздовжньої міцності корпусу	28.05.26	
8	Оформлення пояснювальної записки	16.06.26	

Студент



Сідільов Е.П.

Керівник роботи



Кротов О.І.

Зміст

Анотація.....	5
Вступ.....	7
1. Визначення основних елементів та характеристик судна-проекту	9
1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні	9
1.1.1 Розрахунок водотоннажності	9
1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу	10
1.1.3 Розрахунок основних розмірів	11
1.2 Розрахунок буксирувальної потужності та вибір головного двигуна.....	12
1.3 Визначення елементів проекту у другому наближенні.	12
1.3.1 Розрахунок водотоннажності.....	12
1.3.2 Уточнення розмірів за вимогами до місткості, остійності та хитавиці...	15
1.3.3 Розрахунок основних розмірів у другому наближенні.....	16
1.4 Побудова теоретичного креслення, розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.....	16
1.5 Побудова креслення загального розташування.....	17
1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ	17
1.7 Удиферентування проекту судна.....	20
2. Перевірка морехідних якостей судна.....	27
2.1 Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності... ..	27
2.2 Перевірка вимог Правил Регістру до остійності судна.....	29
2.2.1 Розрахунок амплітуди хитавиці.....	29
2.2.2 Розрахунок моменту від тиску вітру і перекидального моменту.....	31
2.2.3 Діаграми статичної остійності	33
2.2.4 Розрахунок критерію погоди	38
3. Набір корпусу за Правилами Регістру України	41
3.1 Основні розміри судна	41
3.2 Архітектурно-конструктивний тип судна.....	42
3.3 Вибір системи набору перекриттів корпусу судна.....	42
3.4 Вибір марки сталі для корпусу судна.....	42
3.5 Вибір шпації.....	43
3.6 Викреслення обводів мідель-шпангоуту.....	43
3.7 Облік зносу та корозії.....	44
3.8 Визначення згинальних моментів.....	45
3.9 Визначення розрахункових навантажень.....	47
3.9.1 Зовнішні навантаження на корпус судна.....	47
3.9.2 Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної міцності.....	50
Висновки	56
Використана література.....	57

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі представлено проєкт танкера вантажопідйомністю 43000 тонн. Робота складається з трьох розділів, які відображають основні етапи проєктування суден: основи проєктування суден, теорія корабля та конструкція корпусу корабля.

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

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

В розділі конструкції корпусу корабля 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 креслення конструктивного мідель-шпангоута спроектованого судна.

Ключові слова: танкер, проєкт, головні розміри, водотоннажність, остійність судна, загальна міцність.

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

ABSTRACT

This qualification work presents a project of a tanker with a carrying capacity of 43,000 tons. The work consists of three sections that reflect the main stages of ship design: the basics of ship design, ship theory and ship hull design.

In the section on ship design by the method of successive approximation (prototype method), the following were calculated: mass loading; ship displacement in two approximations; fullness coefficients; main dimensions taking into account the requirements for operational and seaworthy qualities; towing resistance and ship power, as well as the power of the main engine using the software "Maxsurf Resistance", which is part of the software complex "Maxsurf" from Bentley Engineering; capacity and refinement of the side height; mass loading, the position of the ship's center of gravity and differentiation in the software "Maxsurf Stability"; three-dimensional model of the designed vessel in the software "Maxsurf Modeler Advanced" by the method of linear and parametric transformation of the prototype vessel model, theoretical drawing and general layout drawing.

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

In the KKK section, the following were selected: architectural and structural type of the vessel; scheme of longitudinal and transverse sections; material of the vessel hull. The following were calculated: moment of resistance and moment of inertia of the hull cross section; vessel hull ties in accordance with the Rules for Classification and Construction of Sea-going Vessels of the Register of Shipping of Ukraine; equivalent beam; total longitudinal strength of the vessel hull. A drawing of the structural middle frame of the designed vessel was obtained.

Keywords: tanker, design, main dimensions, displacement, vessel stability, overall strength.

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

ВСТУП

Актуальність теми. Стійкий розвиток світової торгівлі та постійне зростання обсягів перевезення наливних вантажів вимагають розробки економічно ефективних та високотехнологічних морських суден. Наливні судна є одними з найбільш гнучких та комерційно затребуваних суден, здатних оперувати у більшості портів світу. Даний дипломний проєкт присвячений необхідності створення танкера, який відповідає міжнародним стандартам безпеки та надійності.

Мета та завдання роботи – розробка проєкту танкера вантажопідйомністю 43000 тонн, з обґрунтуванням його головних розмірів, забезпеченням необхідної остійності та підтвердженням загальної міцності корпусу згідно з вимогами Правил реєстру України.

Розробка проєкту базується на методі послідовного наближення із застосуванням програмного комплексу Maxsurf (модулі Resistance, Stability, Modeler Advanced) для гідродинамічного моделювання, розрахунку остійності, вантажомісткості та створення тривимірної моделі корпусу.

Розрахунки виконуються з урахуванням вимог Правил Регістру судноплавства України, які є обов'язковими для проєктів Кафедри теорії та проектування суден.

В дипломній роботі проводяться визначення основних елементів та характеристик судна-проєкту (водотоннажність, параметри форми корпусу, головні розміри, потужність головного двигуна); побудову теоретичного креслення і креслення загального розташування; розрахунки елементів плавучості та початкової стійності, місткості вантажних приміщень і цистерн; удиферентування судна (100% вантажу, 100% запасів), перевірка вимог Правил Регістру України до остійності судна.

Відповідно до Правил класифікаційного товариства розробляється конструктивний мідель-шпангоут судна, виконується перевірка загальної та місцевої міцності зв'язків корпусу судна.

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

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.01						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Визначення основних елементів і характеристик судна	Літ.		Арк.	Аркуші		
Студент		Сідільов Е.П..						8	18		
Консультант		Кротов О.І.				НУК 8					
Керівник		Кротов О.І.									
Зав.кафедр.		Некрасов В.О.									

1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА-ПРОЕКТУ

1.1 Розрахунки елементів проекту у першому наближенні.

1.1.1 Розрахунок водотоннажності.

Для визначення водотоннажності складається алгебраїчне рівняння мас виду:

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_K + \bar{P}_{OB} + \bar{P}_{ЭУ} + \bar{P}_T + \bar{P}_{CH} + \bar{P}_{ЗВ} + \bar{P}_Г + \bar{P}_Б,$$

де $\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу, т; $\bar{P}_K$, $\bar{P}_{OB}$, $\bar{P}_{ЭУ}$, $\bar{P}_T$, $\bar{P}_{CH}$, $\bar{P}_{ЗВ}$, $\bar{P}_Г$, $\bar{P}_Б$ – маса розділів навантаження: запасу водотоннажності, вантажу і баласту прототипу відповідно, т.

$$\bar{\Delta} = 8685,2 + 2517,7 + 930,5 + 2410 + 270 + 49 + 20 + 36630 = 51512,40.$$

В першому наближенні елементи проекту судна будемо розраховувати по коефіцієнту утилізації водотоннажності, взятому по прототипу:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_Б}{\bar{\Delta}} = \frac{36630}{51512,40} = 0,7111,$$

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

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

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

$$\bar{\eta}_{y}^{кор} = \bar{\eta}_y - \left(\bar{a}_{ЭУ} \left(\frac{v_u}{\bar{v}_u} \right)^3 + \bar{a}_T \left(\frac{v_{\vartheta}}{\bar{v}_{\vartheta}} \right)^2 \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{ЭУ} + \bar{a}_T,$$

де $\bar{a}_{ЭУ} = \frac{\bar{P}_{ЭУ}}{\bar{\Delta}}$, $\bar{a}_T = \frac{\bar{P}_T}{\bar{\Delta}}$ – вимірники мас енергетичної установки и (ЕУ) і маси пального відповідно.

$$\bar{a}_{ЭУ} = \frac{\bar{P}_{ЭУ}}{\bar{\Delta}} = \frac{930,5}{51512,40} = 0,0181;$$

$$\bar{a}_T = \frac{2410}{51512,40} = 0,0468;$$

$$\bar{\eta}_{y}^{кор} = 0,7111 - \left(0,0181 \left(\frac{15,4}{15,7} \right)^3 + 0,0468 \left(\frac{14,9}{15,2} \right)^2 \frac{12750}{15000} \right) + 0,0181 + 0,0468 = 0,7207.$$

Для урахування масштабного ефекту судна скористаємося формулою:

					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_0 = \bar{\eta}_{\gamma}^{kop} \left(\frac{P_{\gamma}}{\bar{P}_{\gamma}} \right)^{0,25} = 0,7207 \left(\frac{43000}{36630} \right)^{0,25} = 0,7495,$$

де P_{γ} – вантажопідйомність проекту.

Таким чином, уточнене значення шуканої водотоннажності:

$$\Delta_1 = \frac{P_{\gamma}}{\eta_0} = \frac{43000}{0,7495} = 57179 \text{ т.}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

По значенню водотоннажності можна розрахувати головні розміри проекту судна. Спочатку визначаються наступні характеристики форми корпусу:

– Відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\Delta}{\rho}}} = \frac{182,9}{\sqrt[3]{\frac{51512,4}{1,025}}} = 4,9562$$

– Довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}} = 4,9562 \cdot \sqrt[3]{\frac{57179}{1,025}} = 189,52 \text{ м}$$

– Число Фруда :

проекту

$$Fr = \frac{0,514 v_{\gamma}}{\sqrt{gL}} = \frac{0,514 \cdot 14,9}{\sqrt{9,81 \cdot 189,52}} = 0,1777$$

прототипу

$$\bar{Fr} = \frac{0,514 \bar{v}_{\gamma}}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 15,2}{\sqrt{9,81 \cdot 182,9}} = 0,1845$$

В таблиці 1.1 проводиться вибір коефіцієнтів форми корпусу.

Таблиця 1.1

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
поздовжньої повноти	$C_p = \frac{C_b}{C_m}$	0.752	0.795	0.795
загальної повноти	$C_b = 1,1 - 1,68 Fr$	0.741	0.787	0.787

повноти мідель-шпангоута	$C_m = 0,977 + 0,085(C_b - 0,6)$	0.986	0.993	0.993
повноти ватерлінії	$C_w = \sqrt{C_b} - 0,025$	0.835	0.915	0.915

– Визначення відношення ширини до осадки:

У першому наближенні це відношення можна прийняти по прототипу

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{32,2}{11,01} = 2,92$$

– Визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{d}}\right) = \frac{18,6}{11,1} = 1,67568$$

– Визначення відношення довжини до ширини:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \frac{182,9}{32,2} = 5,68$$

1.1.3 Розрахунок головних розмірів.

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

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

де $k_{вч} = 1,01$ – коефіцієнт, що враховує виступаючі частини корпусу.

Використовуючи відношення головних розмірів, рівняння (3) приймаємо у вигляді:

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

Головні розміри визначаються в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Ширина судна (м)	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_1 (B/T)_1}{k_{вч} \rho C_b (L/B)_1}}$	32,97
Довжина судна (м)	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	187,26
Осадка судна (м)	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	11,37
Висота борту (м)	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	19,05

1.2 Розрахунок буксирувальної потужності і вибір марки головного двигуна.

Розрахунок потужності головного двигуна проводимо за допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance. Результати розрахунку наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Результати розрахунку потужності головного двигуна.

v_s , вуз	Fr_L	Fr_V	R , KN	N , Kw
14,9	0,177	0,396	970,3	8749,859
14,912	0,177	0,396	973,7	8788,344
14,925	0,177	0,397	977,2	8827,019
14,937	0,177	0,397	980,7	8865,884
14,95	0,177	0,397	984,2	8904,941
15,4	0,183	0,409	1120,8	10446,3

Буксирувальна потужність для швидкості на випробуваннях: $v_b=15,4$ вуз, $N_b=10446,3$ кВт. Буксирувальна потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=14,9$ вуз визначається інтерполяцією і дорівнює $N_e = 8749,9$ кВт.

Вибираємо головний двигун фірми «MAN B&W» за каталогом (табл.1.4).

За каталогом приймаємо мало-обертовий двигун (МОД) марки 11L42MC потужністю $N_{ном} = 10945$ кВт, $q_T = 177$ г/(кВт год). (табл.1.2.2).

Таблиця 1.4. Характеристики головного двигуна.

Марка	P_{SN} , кВт	n , об/хв	g_e , г/(кВт·год)	L , мм	B , мм	H , Мм	G , т
11L42MC	10945	176	177	10813	2460	6700	229

1.3 Визначення елементів проекту у другому наближенні.

1.3.1 Розрахунок водотоннажності .

Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використати рівняння мас у функції головних розмірів , в якому складові навантаження мас розраховуються по формулам, які дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_k = q_k C_b^n L B H$, а маса обладнання $P_o = q_o (L B H)^{2/3}$. При визначені маси ЕУ та маси пального використовується значення потужності головного двигуна, прийняте за

каталогом. Вираз для маси постачання $P_{\text{пос}}$, запасу водотоннажності $P_{\text{зв}}$, значення яких в навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінними $P_{\text{пос}} = a_{\text{сн}} \Delta$; $P_{\text{зв}} = a_{\text{зв}} \Delta$.

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

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

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

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вид:

$$\Delta_1 \left(1 - q_K \frac{C_b^n D}{C_b d \rho_B k_B} - a_{\text{сн}} - a_{\text{зв}} \right) = \Delta_1^{2/3} \left(q_o \left(\frac{D}{d \rho_K k_K C_b} \right)^{2/3} \right) + q_{\text{эу}} N_{\text{эу}}^{\text{и}} + q_T k_{\text{мз}} k_{\text{вс}} N_{\text{эу}}^{\text{з}} \frac{R}{v_3} + P_{\text{в}}.$$

Проміжні коефіцієнти визначаються в табл.1.5.

Таблица 1.5 Визначення проміжних коефіцієнтів.

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^n = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,843
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,809
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,094
Вимірник маси обладнання прототипу	$q_{\text{об}} = \frac{\bar{P}_{\text{об}}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,0997
Коефіцієнт морського запасу	$k_{\text{мз}}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасів пального	$k_{\text{вс}}$	1,15
Коефіцієнти для рішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{\text{зв}} - a_{\text{в}}$	0,8279
	$m = q_{\text{об}} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_{\text{сн}}$	2,0403

	$A = q_{\text{ЭУ}} N_{\text{ЭУ}}^u + q_{\text{Т}} k_{\text{мз}} k_{\text{вс}} N_{\text{ЭУ}}^{\text{э}} \frac{R}{v_{\text{э}}} + P_{\text{Г}}$	45328
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

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

$$\Delta_2 = 56055 \text{ т.}$$

Знаючи значення водотоннажності у другому наближенні, знаходимо маси статей навантаження проекту в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 Розрахунок мас статей навантаження.

Назва статті навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d k_{\text{вч}} \rho} \right)$	9478,8
Маса обладнання, т	$P_{\text{ОБ}} = q_{\text{ОБ}} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d C_b k_{\text{вч}} \rho} \right)^{2/3}$	228,8
Маса ЕУ, т	$P_{\text{ЭУ}} = q_{\text{ЭУ}} N_{\text{ЭУ}}^u$	934,65
Маса постачання, т	$P_{\text{пос}} = q_{\text{сн}} \Delta_2^{2/3}$	261,14
Запас водотоннажності, т	$P_{\text{ЗВ}} = a_{\text{ЗВ}} \Delta_2$	584,65
Маса пального, т	$P_n = q_n N_{\text{ЭУ}}^u \frac{R}{v_{\text{э}}} k_{\text{мз}} k_{\text{вс}}$	1709,49
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	$P_{\text{в}}$	43000
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{\text{ОБ}} + P_{\text{ЭУ}} + P_{\text{Т}} + P_{\text{сн}} + P_{\text{ЗВ}} + P_{\text{Г}} + P_{\text{Б}}$	56054,54

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

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

Визначення відношення висоти борту до осадки за умови забезпечення вантажомісткості:

$$D/d = \left[\frac{1,08\eta_B}{L_m/L \gamma_B} + \eta_\delta \right] \frac{C_b}{C_m} \kappa_e$$

$$\left(\frac{D}{d} \right)_{\text{ВМС}} = \left[\frac{1,08\eta_B}{L_m/L_0 \gamma_\delta} + \eta_\delta \right] \frac{\delta}{\delta_m} \kappa''_e = \left[\frac{1,08 \cdot 0,7495}{141,77/189,52} \cdot \frac{1}{0,588} + 0,43 \right] \frac{0,787}{0,648} 0,7573 = 2,08$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{D}{d} \right)_2 = 2,08.$$

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

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B} \right)^2 + \frac{k_\rho}{3} \frac{C_w^2}{C_b} \left(\zeta_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{k_\rho}{6} \frac{C_w^2}{C_b}} = \frac{0,11 + \sqrt{(0,11)^2 + \frac{1,030}{3} \frac{0,993^2}{0,787} \left(0,57 \cdot 1,68 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,993}{0,787} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{1,030}{6} \frac{0,993^2}{0,787}} = 2,9$$

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

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

Визначення відношення довжини до ширини за умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B} \right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{B}{d} \right)_2 \cdot \kappa_{\text{вч}} \cdot \rho} = \sqrt{5,28^3 \cdot 0,787 \cdot 2,9 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 5,68$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{L}{B} \right)_2 = 5,68$$

1.3.3 Розрахунок головних розмірів у другому наближенні.

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta = k_B \rho_B C_b L_2 B_2 d_2,$$

де $k_B = 1,01$ – коефіцієнт, що враховує виступаючі частини корпусу.

Використовуючи відношення головних розмірів, рівняння подається у виді:

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

Таблиця 1.7. Розрахунок головних розмірів у другому наближенні.

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2(B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	32,75
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	186,02
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	11,20
Висота борту (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	18,92

1.4 Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.

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

3D модель поверхні корпусу і ТК будується в середовищах Maxsurf Modeler та AutoCAD в масштабі 1:200 з використанням параметричного перетворення поверхні корпусу прототипу.

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 3 (I.. III)
- кількість ватерліній – 8 (0..7)
- кількість шпангоутів – 21 (0, 1, 2, 3..17, 18, 19, 20)
- теоретична шпация $\Delta L = 186.02 / 20 = 9,3$ м.

По отриманим даним побудовані ТК (24.ДР.135.4111.02.07.01), креслення загального розташування (24.ДР.135.4111.02.07.04) і гідростатичні криві

(24.ДР.135.4111.02.07.02), креслення перевірки вимог Правил Регістру України з остійності (24.ДР.135.4111.02.07.03.)

1.5 Побудова креслення загального розташування.

Креслення будуємо у тому масштабі, як і ТК у середовищі AutoCAD. На проекції «Вигляд збоку/Поздовжній розріз» маємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, щогли, вантажні стріли, леєрну огорожу, суднові пристрої, навігаційні та ходові вогні, всі двері, трапи, ілюмінатори, габаритні обриси, габаритні обриси.

На проекції «Верхня палуба» розміщуються засоби комунікацій, поперечні перебірки, в носовій кінцевій частині розташовується якірно-швартовний пристрій, в кормовій - швартовний пристрій.

1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат центра мас (ЦМ).

Після визначення головних розмірів та коефіцієнтів повноти судна слід перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною та виконується з достатньою для цього точністю за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise. Так як довжина судна знаходиться в межах 175÷195 м та кормове розташування машинного відділення (МВ), то загальну кількість водонепроникних перебірок приймаємо 9.

Фактичну шпацию визначаємо за формулою

$$a = 0,002L + 0,48 = 0,002 \cdot 186,02 + 0,48 = 0,852\text{м.}$$

Приймаємо $a = 0,9$ м.

Відповідно до вимог Правил Регістру, у форпіку та ахтерпіку шпация приймається $a_f = a_{axm} = 600$ мм. Перехідна шпация між форпіковою перебіркою та перерізом $0,2L$ від носового перпендикуляра приймається $a_n = 700$ м.

Таким чином, поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки, представлені в табл. 1.8.

					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.8. Відсіки судна.

Шпація	Відсік	Довжина
227 - 210	Ахтерпик	$L_{ax} = 17 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ м}$
210– 183	МО	$L_{MO} = 27 \cdot 0,9 = 24,3 \text{ м}$
183 – 159	Трюм №7	$L_{трюм7} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
159 – 135	Трюм №6	$L_{трюм6} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
135 – 111	Трюм №5	$L_{трюм5} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
111– 87	Трюм №4	$L_{трюм4} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
87– 63	Трюм №3	$L_{трюм3} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
63– 39	Трюм №2	$L_{трюм2} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
39-17	Трюм №1	$L_{трюм1} = 22 \cdot 0,7 = 15,4 \text{ м}$
17 - 0	Форпик	$L_{фор} = 17 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ м}$
Сума		$L=189,7 \text{ м}$

Висоту другого дна розраховуємо по формулі (Пер.):

$$h_{дд} = \frac{B}{15} = 2.15$$

Ширину подвійного борту приймаємо по (Пер.) $b_{но} = 3,0 \text{ м}$

Таблиця місткості (Loadcase) розраховується в програмі Maxsurf Stability Advanced. Для цього спочатку заповнюється таблиця з вихідними даними (Room definition).

Положення ЦМ визначається розрахунком із використанням Loadcase. При цьому абсциси та аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, ЕУ та постачання визначаються перерахунком з даних судна прототипу пропорційно довжині та висоті борту відповідно до залежностей [3]:

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

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

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

					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.9 Таблиця ємності.

№ п/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм, м ³	Перехідний к-т k (% завантаж.)	Об'єм під вантаж, м ³	Координати центра ваги, м	
					x	z
1	Трюм №1	7809,03	0,91	7106,217	-19,863	9,774
2	Трюм №2	8597,413	0,97	8339,491	-37,725	10,203
3	Трюм №3	9523,003	0,97	9237,313	-56,325	10,203
4	Трюм №4	9547,358	0,98	9356,411	-75,900	10,288
5	Трюм №5	9479,163	0,98	9289,580	-95,430	10,288
6	Трюм №6	9523,005	0,98	9332,545	-114,93	10,288
7	Трюм №7	7852,216	0,98	7695,172	-132,77	10,303
8	Сумарний об'єм вантажних приміщень	<u>65970,615</u>		<u>63923,4</u>		
9	Цистерна балластна №1 ПБ	442,166	0	0	-28,351	2,419
10	Цистерна №2 ПБ	533,168	0	0	-40,408	2
11	Цистерна №3 ПБ	529,056	0	0	-56,325	2
12	Цистерна №4 ПБ	636,924	0	0	-75,9	2
13	Цистерна №5 ПБ	631,997	0	0	-95,329	2
14	Цистерна №6 ПБ	625,002	0	0	-113,43	2
15	Цистерна №7 ПБ	463,204	0	0	-126,05	2
16	Цистерна баластна №1 ЛБ	442,166	0	0	-28,351	2,419
17	Цистерна №2 ЛБ	533,168	0	0	-40,408	2
18	Цистерна №3 ЛБ	529,056	0	0	-56,325	2
19	Цистерна №4 ЛБ	636,924	0	0	-75,9	2
20	Цистерна №5 ЛБ	631,997	0	0	-95,329	2
21	Цистерна №6 ЛБ	625,002	0	0	-113,43	2
22	Цистерна №7 ЛБ	463,204	0	0	-126,05	2
23	Форпик	2007,334	0	0	-7,72	0
24	Ахтерпик	4810,535	0	0	-176,32	0
25	Σ Об'єм балластных цистерн	<u>15403.314</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
26	Цистерна 2-го дна №1	669,138	0	397,012	-21,65	0
27	Цистерна №2	1034,191	0	626,492	-38,26	0
28	Цистерна №3	1233,551	0	0	-56,326	0
29	Цистерна №4	1236,759	0	0	-75,900	0
30	Цистерна №5	1224,124	0	0	-95,379	0
31	Цистерна №6	1098,873	0,501	0	-114,34	0,576
32	Цистерна №7	650,374	1	651,233	-132,27	1,148
33	Slop Tank	224,949	1	224,949	-144,5	1,148
34	МО	426,8	0,9	384,119	-159,2	1,024
35	Сумарний об'єм цистерн пального	<u>7798,757</u>	<u>0,2321</u>	<u>1809,97</u>	<u>-134,1</u>	<u>0,948</u>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01

Арк.

19

Перевірка об'єму під вантаж.

$$W_B' = 65970,61 \text{ м}^3 > W_B = P_B / \gamma_B = 42860 / 0,67 = 63970,15 \text{ м}^3.$$

$$W_T' = 7364,366 \text{ м}^3 > W_T = P_T / \gamma_T = 1709,486 / 0,9443 = 1810,32 \text{ м}^3.$$

$$\text{Помилка: } \varepsilon = \frac{65970,64 - 63970}{65970,61} \cdot 100\% = 3\% < 5\%.$$

Висновки. Трюми і цистерни проекту судна повністю вміщують весь вантаж і пальне.

1.7 Удиферентування проекту судна.

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

Для удиферентування судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Розглядається 1 -й стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів і 0% баласту, дані беруться з Loadcase (табл. 1.10).

Таблиця 1.10 Loadcase для I-го стану навантаження

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	hull	1	9478.810	9478.810			-100.540	0.000	11.290	0.000	User Spe
2	equipment	1	228.800	228.800			-129.120	0.000	17.500	0.000	User Spe
3	Engine	1	934.650	934.650			-162.730	0.000	9.830	0.000	User Spe
4	margin	1	584.650	584.650			-162.000	0.000	0.000	0.000	User Spe
5	Total LS			11226.910			-109.500	0.000	10.707	0.000	
6	Tank 1	89.5%	5232.050	4682.685	7809.030	6989.081	-19.865	0.000	9.648	0.000	User Spe
7	Tank2	96.8%	5760.267	5575.939	8597.413	8322.296	-37.726	0.000	10.186	0.000	User Spe
8	Tank3	97.1%	6380.412	6195.380	9523.003	9246.835	-56.326	0.000	10.212	0.000	User Spe
9	Tank4	98%	6396.730	6268.796	9547.358	9356.412	-75.901	0.000	10.288	0.000	User Spe
10	Tank5	98%	6351.039	6224.019	9479.163	9289.580	-95.431	0.000	10.288	0.000	User Spe
11	Tank6	99%	6380.413	6316.609	9523.005	9427.774	-114.936	0.000	10.372	0.000	User Spe
12	Tank7	99%	5260.985	5208.375	7852.216	7773.694	-132.776	0.000	10.387	0.000	User Spe
13	Slop Tank	98%	2438.416	2389.647	3639.426	3566.638	-144.646	0.000	10.422	0.000	User Spe
14	Total Cargo	96.97%	44200.313	42861.449	65970.615	63972.310	-81.316	0.000	10.226	0.000	
15	DBT1	0%	631.867	0.000	669.138	0.000	-28.789	0.000	0.000	0.000	User Spe
16	DBT2	0%	976.587	0.000	1034.191	0.000	-46.450	0.000	0.000	0.000	User Spe
17	DBT3	0%	1164.842	0.000	1233.551	0.000	-65.989	0.000	0.000	0.000	User Spe
18	DBT4	0%	1167.872	0.000	1236.759	0.000	-85.589	0.000	0.000	0.000	User Spe
19	DBT5	0%	1155.940	0.000	1224.124	0.000	-104.583	0.000	0.000	0.000	User Spe
20	DBT6	46.2%	1037.666	479.401	1098.873	507.679	-114.332	0.000	0.536	0.000	User Spe
21	DBT7	100%	614.148	614.148	650.374	650.374	-132.270	0.000	1.148	0.000	User Spe
22	DBST	100%	212.419	212.419	224.949	224.949	-144.519	0.000	1.148	0.000	User Spe
23	DBMO	100%	403.026	403.026	426.799	426.799	-159.215	0.000	1.114	0.000	User Spe
24	Total fuel	23.21%	7364.366	1708.995	7798.757	1809.801	-135.115	0.000	0.968	0.000	
25	Supply	1	270.000	270.000			-162.000	0.000	16.260	0.000	User Spe
26	Total suppl			270.000			-162.000	0.000	16.260	0.000	

27	AP	0%	4930.798	0.000	4810.535	0.000	-177.946	0.000	0.000	0.000	User Spe
28	Forpeak	0%	2057.518	0.000	2007.334	0.000	-9.129	0.000	0.000	0.000	User Spe
29	DST1L	0%	453.220	0.000	442.166	0.000	-28.351	-14.315	2.419	0.000	User Spe
30	DST1R	0%	453.220	0.000	442.166	0.000	-28.351	14.315	2.419	0.000	User Spe
31	DST2L	0%	546.497	0.000	533.168	0.000	-46.450	-15.324	2.000	0.000	User Spe
32	DST2R	0%	546.497	0.000	533.168	0.000	-46.450	15.324	2.000	0.000	User Spe
33	DST3L	0%	651.154	0.000	635.272	0.000	-65.989	-15.333	2.000	0.000	User Spe
34	DST3R	0%	542.282	0.000	529.056	0.000	-65.989	15.200	2.000	0.000	User Spe
35	DST4L	0%	652.847	0.000	636.924	0.000	-85.589	-15.333	2.000	0.000	User Spe
36	DST4R	0%	652.847	0.000	636.924	0.000	-85.589	15.333	2.000	0.000	User Spe
37	DST5L	0%	647.797	0.000	631.997	0.000	-104.583	-15.276	2.000	0.000	User Spe
38	DST5R	0%	647.797	0.000	631.997	0.000	-104.583	15.276	2.000	0.000	User Spe
39	DST6L	0%	640.627	0.000	625.002	0.000	-124.599	-14.647	2.000	0.000	User Spe
40	DST6R	0%	640.627	0.000	625.002	0.000	-124.599	14.647	2.000	0.000	User Spe
41	DST7L	0%	474.784	0.000	463.204	0.000	-127.205	-14.488	2.000	0.000	User Spe
42	DST7R	0%	474.784	0.000	463.204	0.000	-127.205	14.488	2.000	0.000	User Spe
43	DSSLL	0%	195.008	0.000	190.251	0.000	-140.903	-14.400	3.719	0.000	User Spe
44	DSSLR	0%	195.008	0.000	190.251	0.000	-140.903	14.400	3.719	0.000	User Spe
45	Total ballas	0%	15403.314	0.000	15027.624	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
46	Total Load			56067.353	88796.995	65782.111	-88.988	0.000	10.069	0.000	
47	FS correcti								0.000		
48	VCG fluid								10.069		

Розрахунок повної водотоннажності проекту представлений в табл. 1.11

Таблиця 1.11. Розрахунок водотоннажності проекту.

№	Назва	Маса Р, т	Плечі, м		Моменти т·м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	11226,910	-101,064	10,707	-1134636	120206,5
2	Вантаж	43000	-81,081	10,217	-3472590	437580,4
3	Постачання	270	-80,6	16,26	-21762	4390,2
4	Пальне	1709,161	-134,063	0,948	-229135,2	1620,3
	Σ					
	Дедвейт (Σдед.)	44830				
	Водотоннажність повна (Σ = (Σпор.)+(Σдед.))	56067				

Удиферентування проекту виконується в середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: 1-й стан навантаження – 100% вантажу, 100% запасів, 0 баласту.

На рис 1.7.1 представлена візуалізація посадки судна, а в табл.1.7.3 – параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (табл.1.12).

					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

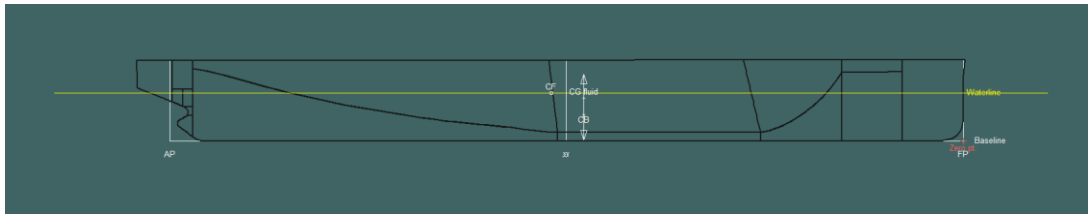


Рисунок 1.7.1 – Удиферентоване судно-проект в повному вантажі.

Таблиця 1.12 Посадка судна.

Draft Amidships m	11,186
Displacement t	56067
Heel deg	0,0
Draft at FP m	11,147
Draft at AP m	11,226
Draft at LCF m	11,188
Trim (+ve by stern) m	0,079
WL Length m	190.44
Beam max extents on WL m	32,652
Wetted Area m ²	8752.8
Waterpl. Area m ²	5687.7
Prismatic coeff. (Cp)	0,792
Block coeff. (Cb)	0,784
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,992
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,915
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-88.98
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-96,58
KB m	5,951
KG fluid m	10.069
BMt m	8,491
BML m	269,69
GMt corrected m	4.373
GML m	265.57
KMt m	14,442
KML m	275,64
Immersion (TPc) tonne/cm	58.299
MTc tonne.m	800.26
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4278.8
Max deck inclination deg	0,0244
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0244

Відповідно табл. 1.12 розрахунковий стан судна має наступні характеристики:
 $T_n = 11,147$ – осадка носом, м; $T_k = 11,226$ – осадка кормою, м; $\Delta T = 0,079$ – диферент, м.

Для удиферентування необхідне виконання наступних умов.

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

					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- $\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 190,44 = 1,5 \text{ м} - 0,079 < 1,5$ задовольняється;
- $T_H \geq \frac{L}{40} = \frac{190,44}{40} = 4,8 \text{ м}$ – умова відсутності слемінгу: $11,147 > 4,8$

задовольняється;

- $T_K \geq d_{2\sigma}$ – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості при $d_{2\sigma} = 7,9 \text{ м}$, $11,226 > 7,9$ задовольняється;

- $T_K \geq T_H$ – умова забезпечення морехідних якостей $11,226 > 11,147$ задовольняється.

Висновки.

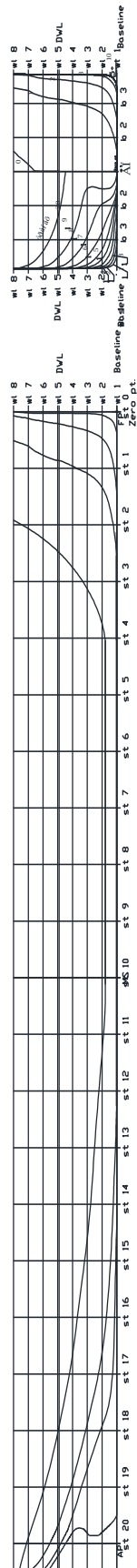
Оскільки значення $X_c = -88,98 \text{ м}$, $X_g = -88,987 \text{ м}$ практично рівні, проект в повному вантажі удиферентований.

На стор.24 розміщено побудоване теоретичне креслення, а на стор. 25 – креслення загального розташування проектного судна.

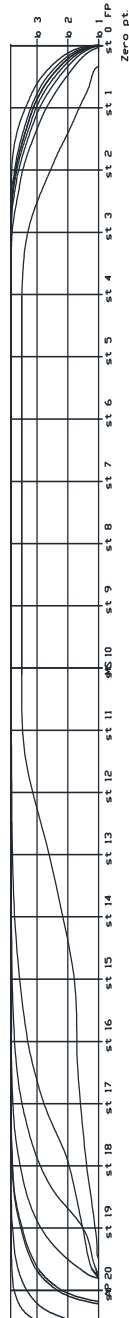
					24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\hat{A}^3\hat{e}$

Êi ði óñ



İ ³âø è ðî òà

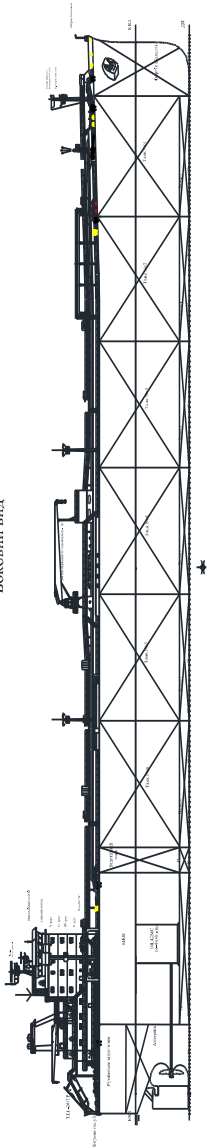


$L/d = 189.1$
 $L/T = 186.02$
 $D = 1.951$
 $D \pm 1.951$
 $D \pm 11.201$

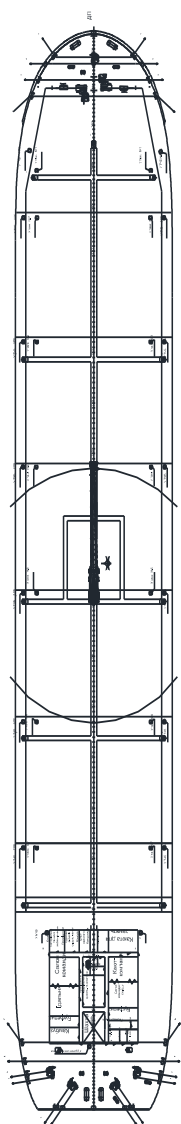
[illegible]

24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01

Боковий вид



Верхня палуба



189,9
 186,02
 32,75
 18,92
 11,20
 12750
 14,9
 29
 10945
 44830

24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01		24.ДП.135.4111.02.ПЗ.01	
Специфікація		Специфікація	
до проекту		до проекту	
на виконання		на виконання	
робот		робот	
за замовленням		за замовленням	
замовника		замовника	
№ 1		№ 1	
від 1		від 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	
за 1		за 1	
до 1		до 1	

					24.ДР.6.135.4111.02.ПЗ.02						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Перевірка морехідних якостей судна			Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент		Сідільов Е.П.									
Консульт.		Пашенко Ю.М.						НУК 26			
Керівник		Кротов О.І									
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.									

2. 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 Engineering. 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) [9]: 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 11,2 м; LCG та VCG з таблиці 1.7.1 (-87,899 м та 10,069 м).

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

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

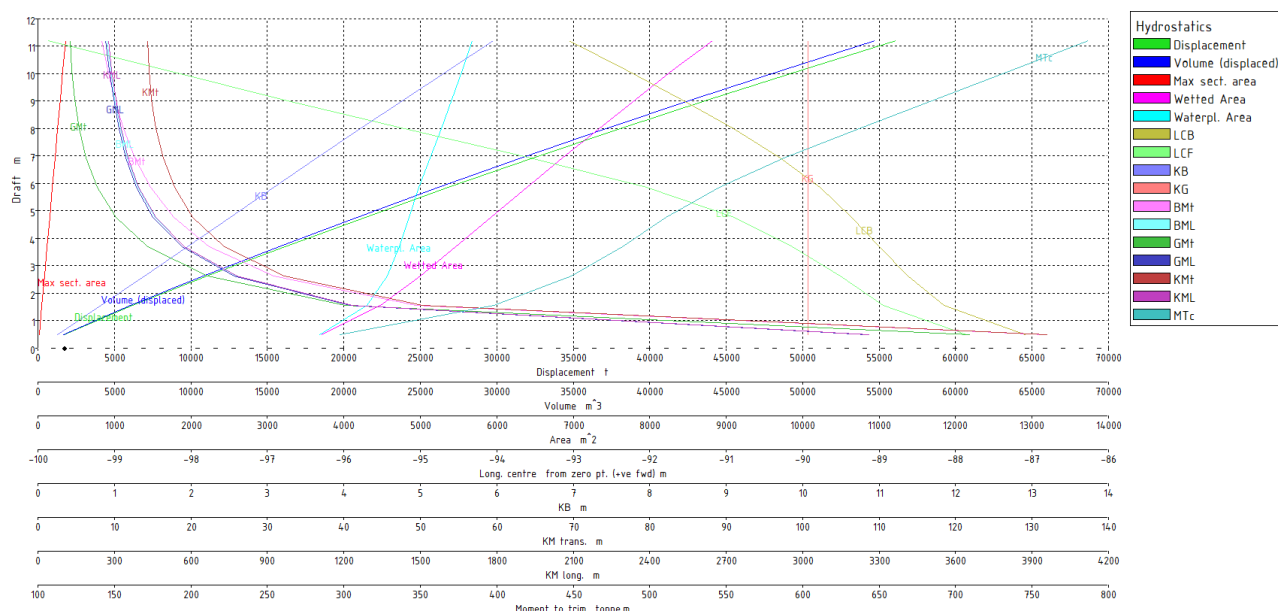


Рис. 2.1 Гідростатичні криві

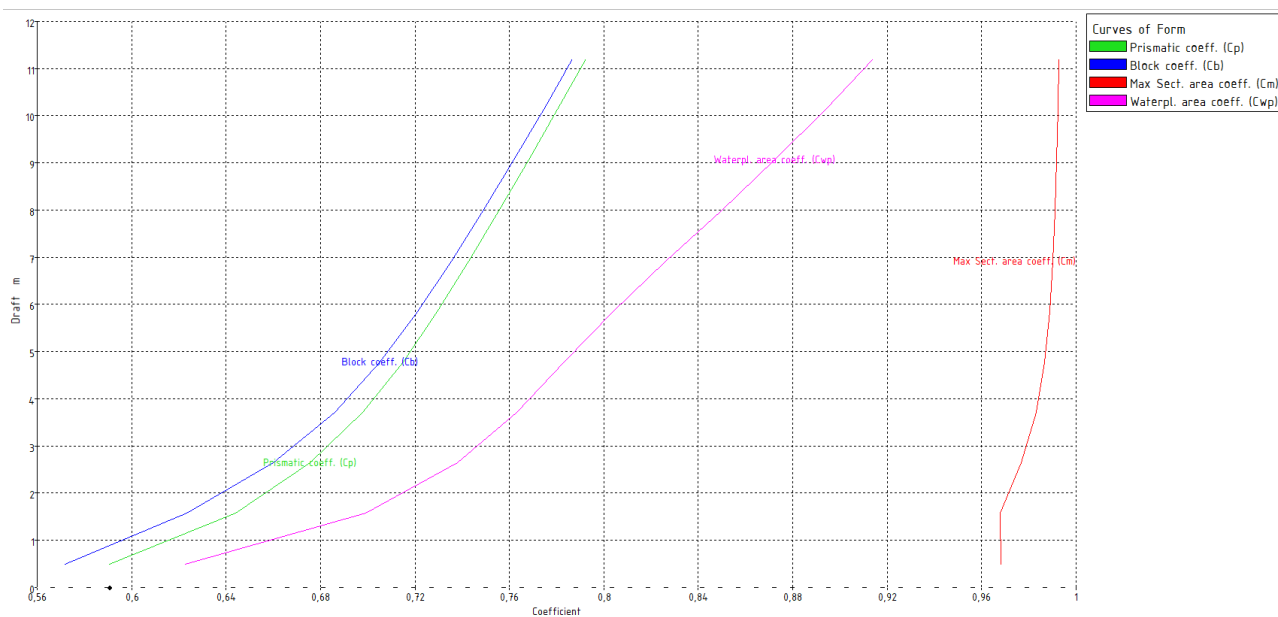


Рис. 2.2 Криві форми судна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДР.135.4111.02.ПЗ.02

Арк.

28

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку кривих елементів теоретичного креслення

	Draft Amidships m	0,500	1,570	2,640	3,710	4,780	5,850	6,920	7,990	9,060	10,130	11,200
1	Displacement t	1735	6176	11061	16165	21420	26815	32358	38059	43922	49937	56098
2	Volume (displaced) m³	1692,57	6025,26	10791,2	15771,0	20897,6	26160,9	31568,9	37131,1	42850,9	48719,0	54729,9
3	Max sect. area m²	15,104	49,318	84,198	119,140	154,095	189,063	224,045	259,041	294,050	329,069	364,099
4	Wetted Area m²	3714,12	4482,92	4998,91	5463,66	5928,97	6391,58	6861,22	7339,08	7820,66	8305,90	8823,52
5	Waterpl. Area m²	3686,81	4305,32	4570,24	4727,96	4854,06	4985,26	5124,95	5272,71	5416,10	5551,45	5679,20
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,591	0,644	0,676	0,698	0,715	0,729	0,743	0,756	0,768	0,780	0,792
7	Block coeff. (Cb)	0,572	0,623	0,660	0,686	0,705	0,721	0,735	0,749	0,762	0,774	0,787
8	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,968	0,968	0,977	0,983	0,987	0,989	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993
9	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,623	0,699	0,738	0,763	0,783	0,804	0,826	0,850	0,872	0,894	0,914
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-87,090	-88,155	-88,622	-88,996	-89,359	-89,777	-90,291	-90,903	-91,587	-92,308	-93,058
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-87,856	-88,949	-89,505	-90,132	-90,893	-92,041	-93,557	-95,202	-96,820	-98,329	-99,872
12	KB m	0,258	0,826	1,393	1,957	2,519	3,082	3,648	4,219	4,794	5,372	5,954
13	KG m	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069	10,069
14	BMT m	131,653	49,431	30,859	22,440	17,757	14,786	12,720	11,211	10,048	9,119	8,363
15	BML m	3260,46	1232,62	778,352	574,225	459,722	392,948	351,103	323,209	302,026	284,769	270,232
16	GMt m	121,842	40,188	22,183	14,327	10,206	7,798	6,299	5,361	4,772	4,422	4,248
17	GML m	3250,65	1223,38	769,676	566,113	452,171	385,961	344,682	317,358	296,751	280,073	266,117
18	KMt m	131,911	50,257	32,252	24,396	20,275	17,867	16,368	15,430	14,841	14,491	14,317
19	KML m	3260,72	1233,45	779,745	576,182	462,240	396,030	354,751	327,427	306,820	290,142	276,186
20	MTC tonne.m	297,286	398,286	448,782	482,414	510,571	545,574	587,943	636,714	687,083	737,269	786,962

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 [9, 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 [9, 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;

$d = 11,2$ – осадка судна, м.

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

де $c = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L_{wl}}{100} = 0,357$; $B = 32,75$ – ширина судна, м;

h – виправлена метацентрична висота, м (з поправкою на вільні поверхні рідких вантажів); $L_{wl} = 193,157$ – 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	4,072	Pass	+2614,67

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 $\frac{B}{d} = \frac{32,75}{11,2} \approx 2,92$, тому X_1 знаходиться за лінійною інтерполяцією:

$$X_1 = 0,93 + (2,92 - 2,8) \cdot \frac{0,90 - 0,93}{3 - 2,8} = 0,912$$

Таблиця 2.3 – Множник X_2

C_v	$\leq 0,45$	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

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(z_g - d)}{d} = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{(10,069 - 11,2)}{11,2} = 0,669;$$

$$T = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,357 \cdot 32,75 / \sqrt{4,072} = 11,594 \text{ с}$$

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 $T = 11,594$, тому S знаходиться за лінійною інтерполяцією:

$$S = 0,079 + (11,594 - 10) \cdot \frac{0,065 - 0,079}{12 - 10} = 0,068$$

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

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,912 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,669 \cdot 0,068} = 21,184$$

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

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.

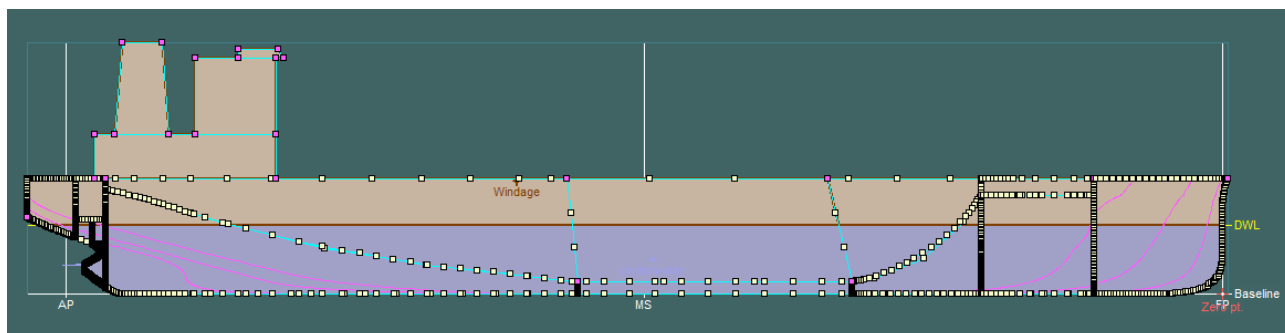


Рис. 2.4 – Надводні та підводні поверхні судна

Area

	Surface	Above DWL 2D lateral proj. area m ²	LC area m	TC area m	VC area m	I - roll m ⁴
12	Surface 12	0,000	-5,820	0,000	-0,500	
13	Surface 13	0,000	-5,820	0,000	-0,500	
14	Surface 14	2,271	-184,317	0,000	11,698	
15	Surface 15	2,605	-186,767	0,000	11,694	
16	Surface 16	33,083	-185,631	0,000	15,551	
17	Buttock plane	214,560	-170,100	0,000	22,520	
18	Copy of Buttock plane	167,580	-161,850	0,000	32,420	
19	Copy of Copy of Buttock pla	116,418	-177,287	0,000	33,221	
20	Buttock plane	9,660	-157,944	0,000	39,403	
21	Total Above DWL 2D lateral	2019,502	-115,659	0,000	18,459	

Area:

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.

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 [9, с.522]; $A = 2019,502$ м² – площа парусності (рис. 2.5); Z_B – відстань центра площі надводної поверхні (рис. 2.5, стовбець VC area), м; $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ – прискорення вільного падіння; $Z_v = Z_B - \frac{d}{2} = 18,459 - \frac{11,2}{2} = 12,859$ 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); $\Delta = 56054$ 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:

$$l_{w1} = \frac{p_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = \frac{504 \cdot 2019,502 \cdot 12,859}{1000 \cdot 9,81 \cdot 56054} \approx 0,0238 \text{ м};$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0238 \approx 0,0357 \text{ м}$$

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)	18,459	m
6	☒	total area: A =	2019,502	m ²
7	☐	additional area: A =	50,000	m ²
8	☐	height of lateral resistance: H =	0,000	m
9	☒	H = mean draft / 2		m
10	☐	H = vert. centre of projected lat. u'w		m
11	☐	H = waterline		m
12	☐	cosine power: n =	0	

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

2.2.3 Діаграма статичної остійності судна в різних станах його корпусу

Результати розрахунку ординат статичної остійності з врахуванням тиску вітру виконані в табличній формі (табл. 2.5) та у форматі креслення (рис. 2.7). Перевірка вимог до остійності не пошкодженого судна наведена в таблиці (2.6).

Таблиця 2.5 – 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	-2,606	-1,616	-0,758	0,000	0,758	1,616	2,606	3,060	2,904	2,396	1,694	0,881	0,015	-0,851	-1,665
2	Area under GZ curve from zero heel m.deg	36,5383	15,4982	3,7476	0,0001	3,7593	15,4509	36,7122	65,6154	95,8330	122,541	143,115	156,055	160,562	156,355	143,744
3	Displacement t	56065	56067	56067	56067	56067	56067	56067	56067	56064	56063	56067	56067	56064	56067	56068
4	Draft at FP m	11,539	11,312	11,201	11,159	11,202	11,314	11,544	12,238	13,329	15,053	18,298	27,607	n/a	8,880	-0,349
5	Draft at AP m	10,263	10,808	11,125	11,227	11,124	10,807	10,258	9,824	9,376	8,786	7,887	5,642	n/a	-14,376	-12,331
6	Trim (+ve by stern) m	-1,276	-0,503	-0,077	0,068	-0,078	-0,507	-1,285	-2,414	-3,953	-6,267	-10,411	-21,965	n/a	-23,256	-11,982
7	WL Length m	196,012	195,719	193,847	193,224	193,846	195,716	196,012	196,020	196,030	196,539	196,829	196,681	196,262	195,297	194,863
8	Beam max extents on WL m	34,884	34,849	33,254	32,749	33,254	34,849	34,885	29,424	24,690	21,839	20,127	19,205	18,914	19,207	20,130
9	Wetted Area m ²	9170,59	8873,77	8839,02	8813,92	8837,89	8873,40	9113,16	9454,50	9563,03	9619,10	9629,05	9631,79	9605,04	9618,29	9616,75
10	Waterpl. Area m ²	5859,00	5980,60	5755,40	5681,50	5755,36	5980,48	5858,93	4999,34	4313,46	3906,69	3688,06	3568,60	3525,59	3561,67	3708,81
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,801	0,795	0,794	0,792	0,794	0,795	0,801	0,812	0,820	0,825	0,827	0,829	0,830	0,831	0,830
12	Block coeff. (Cb)	0,486	0,536	0,642	0,784	0,642	0,536	0,486	0,532	0,601	0,663	0,720	0,775	0,811	0,745	0,685
13	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-93,132	-93,144	-93,150	-93,152	-93,148	-93,139	-93,122	-93,100	-93,074	-93,047	-93,025	-93,012	-93,006	-93,004	-93,007
14	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-97,513	-98,967	-99,745	-99,919	-99,744	-98,964	-97,516	-95,686	-95,190	-95,387	-96,212	-96,547	-96,178	-95,424	-93,955
15	MTc tonne.m	816,102	831,320	799,252	787,916	799,233	831,272	816,091	700,701	615,192	566,781	548,011	539,827	535,250	536,799	557,848
16	Max deck inclination deg	30,0017	20,0005	10,0000	0,0206	10,0000	20,0005	30,0017	40,0032	50,0043	60,0045	70,0037	80,0020	90,0000	99,9977	109,995
17	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,3854	-0,1520	-0,0232	0,0206	-0,0236	-0,1532	-0,3882	-0,7289	-1,1937	-1,8921	-3,1414	-6,6047	-90,000	-6,9892	-3,6142

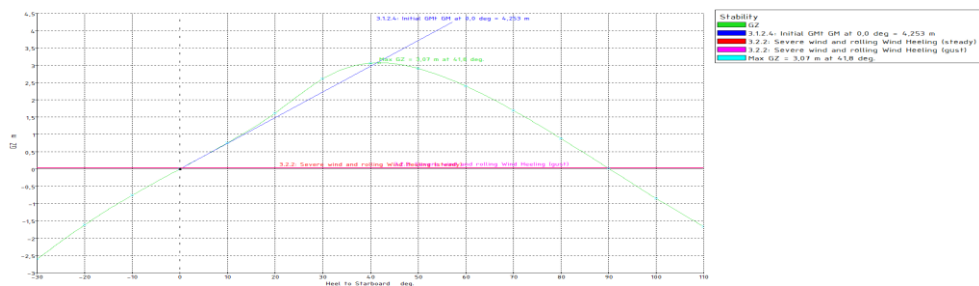


Рис. 2.7 – Діаграма статичної остійності з Maxsurf Stability Enterprise

Таблиця 2.7 – Перевірка вимог до остійності судна в неушкодженому 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	90,2	deg			
7		shall not be less than (>=)	0,0550	m.rad	0,6407	Pass	+1064,98
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	90,2	deg			
16		shall not be less than (>=)	0,0900	m.rad	1,1452	Pass	+1172,45
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	90,2	deg			
25		shall not be less than (>=)	0,0300	m.rad	0,5045	Pass	+1581,49
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	41,8	deg	41,8		
33		shall not be less than (>=)	0,200	m	3,070	Pass	+1435,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	41,8		
36							
37	A.749(18) Ch3	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (>=)	25,0	deg	41,8	Pass	+67,27
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	4,253	Pass	+2735,33
43							
44	A.749(18) Ch3	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
45		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^2 n(\phi)$					
46		constant: a =	0,99966				
47		wind pressure: P =	504,0	Pa			
48		area centroid height (from zero point): h =	18,459	m			
49		total area: A =	2019,502	m ²			
50		H = mean draft / 2	5,596	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	-24,7		
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)	89,8	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	41,8	deg	41,8		
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	0,3	Pass	+98,00
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	1,28	Pass	+98,40
65		Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	376,24	Pass	+276,24
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,024		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,3		
69		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,5		
70		Deck edge immersion angle		deg	25,1		
71		Area1 (under GZ), from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	1,6725		
72		Area1 (under HA), from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	0,0309		
73		Area1, from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	1,6416		
74		Area2 (under GZ), from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	-0,4206		
75		Area2 (under HA), from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	0,0157		
76		Area2, from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	0,4363		
77							

Згідно з завданням, також треба перевірити остійність судна в аварійному стані (пошкоджене машинне відділення). Коефіцієнт проникності машинного відділення в пошкодженому стані рівний 0,85 [9, 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.

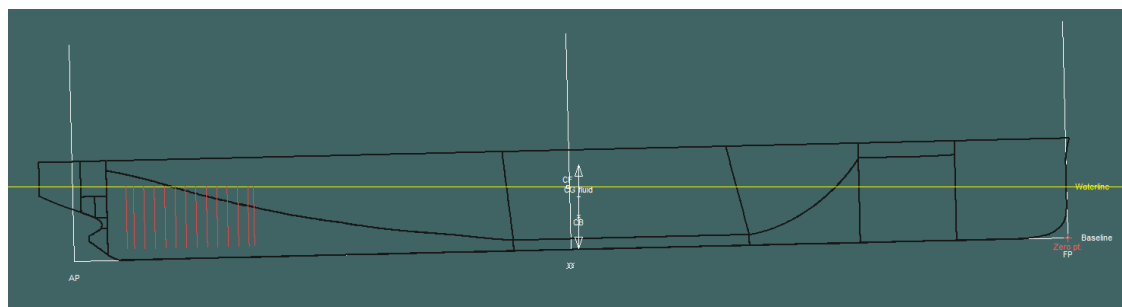


Рис. 2.8 – Рівновага судна в пошкодженому стані

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків Equilibrium пошкодженого судна

1	Draft Amidships m	11,999
2	Displacement t	56067
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	9,755
5	Draft at AP m	14,243
6	Draft at LCF m	12,005
7	Trim (+ve by stern) m	4,488
8	WL Length m	196,060
9	Beam max extents on WL m	32,789
10	Wetted Area m ²	9299,563
11	Waterpl. Area m ²	5217,753
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,710
13	Block coeff. (Cb)	0,628
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,883
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,839
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-93,233
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-95,121
18	KB m	6,309
19	KG fluid m	10,069
20	BMT m	7,764
21	BML m	331,252
22	GMt corrected m	4,003
23	GML m	327,491
24	KMt m	14,071
25	KML m	337,468
26	Immersion (TPc) tonne/cm	53,482
27	MTc tonne.m	967,927
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	3917,261
29	Max deck inclination deg	1,3551
30	Trim angle (+ve by stern) deg	1,3551

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	-2,263	-1,514	-0,712	0,000	0,712	1,514	2,263	2,580	2,440	1,989	1,359	0,630	-0,139	-0,897	-1,595
2	Area under GZ curve from zero heel m.deg	33,5421	14,6030	3,4926	0,0000	3,5023	14,5720	33,6717	58,3077	83,7336	106,072	122,918	132,917	135,386	130,165	117,668
3	Displacement t	56063	56068	56067	56068	56067	56069	56065	56064	56064	56067	56067	56067	56067	56067	56070
4	Draft at FP m	9,721	9,826	9,785	9,759	9,774	9,824	9,719	9,777	9,954	10,268	10,912	12,767	n/a	-5,306	-7,255
5	Draft at AP m	14,248	13,984	14,165	14,239	14,175	13,986	14,251	15,334	17,128	19,957	25,316	40,925	n/a	19,830	4,315
6	Trim (+ve by stern) m	4,526	4,158	4,381	4,479	4,401	4,162	4,532	5,557	7,175	9,689	14,403	28,158	n/a	25,136	11,570
7	WL Length m	196,047	196,047	196,056	196,060	196,056	196,047	196,047	196,055	196,064	196,070	196,385	196,768	196,815	196,524	196,043
8	Beam max extents on WL m	34,468	34,864	33,268	32,789	33,268	34,864	34,469	29,424	24,690	21,839	20,127	19,205	18,916	19,208	20,128
9	Wetted Area m²	9837,89	9390,16	9321,54	9307,75	9321,96	9389,07	9838,63	10205,9	10340,3	10407,5	10452,4	10482,0	10482,0	10509,0	10507,7
10	Waterpl. Area m²	5057,99	5424,67	5272,23	5217,65	5272,42	5424,55	5057,82	4477,58	3893,01	3507,84	3272,85	3156,01	3137,07	3204,83	3366,38
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,726	0,718	0,713	0,710	0,712	0,718	0,726	0,736	0,745	0,753	0,759	0,764	0,768	0,772	0,775
12	Block coeff. (Cb)	0,464	0,503	0,592	0,628	0,592	0,503	0,464	0,501	0,564	0,620	0,672	0,720	0,702	0,657	0,614
13	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-93,230	-93,238	-93,227	-93,222	-93,252	-93,242	-93,235	-93,252	-93,272	-93,280	-93,285	-93,314	-93,313	-93,306	-93,277
14	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-88,214	-92,897	-94,765	-95,118	-94,773	-92,896	-88,212	-86,663	-85,885	-85,301	-84,973	-84,794	-85,001	-85,553	-86,345
15	MTc tonne.m	816,310	940,403	967,043	967,865	967,187	940,342	816,254	710,393	628,640	574,221	541,120	527,243	530,789	550,266	588,070
16	Max deck inclination deg	30,0212	20,0334	10,0836	1,3527	10,0844	20,0334	30,0212	40,0172	50,0142	60,0108	70,0070	80,0034	90,0000	99,9973	109,995
17	Trim angle (+ve by stern) deg	1,3669	1,2557	1,3229	1,3527	1,3290	1,2567	1,3685	1,6780	2,1660	2,9240	4,3419	8,4430	90,0000	7,5479	3,4902

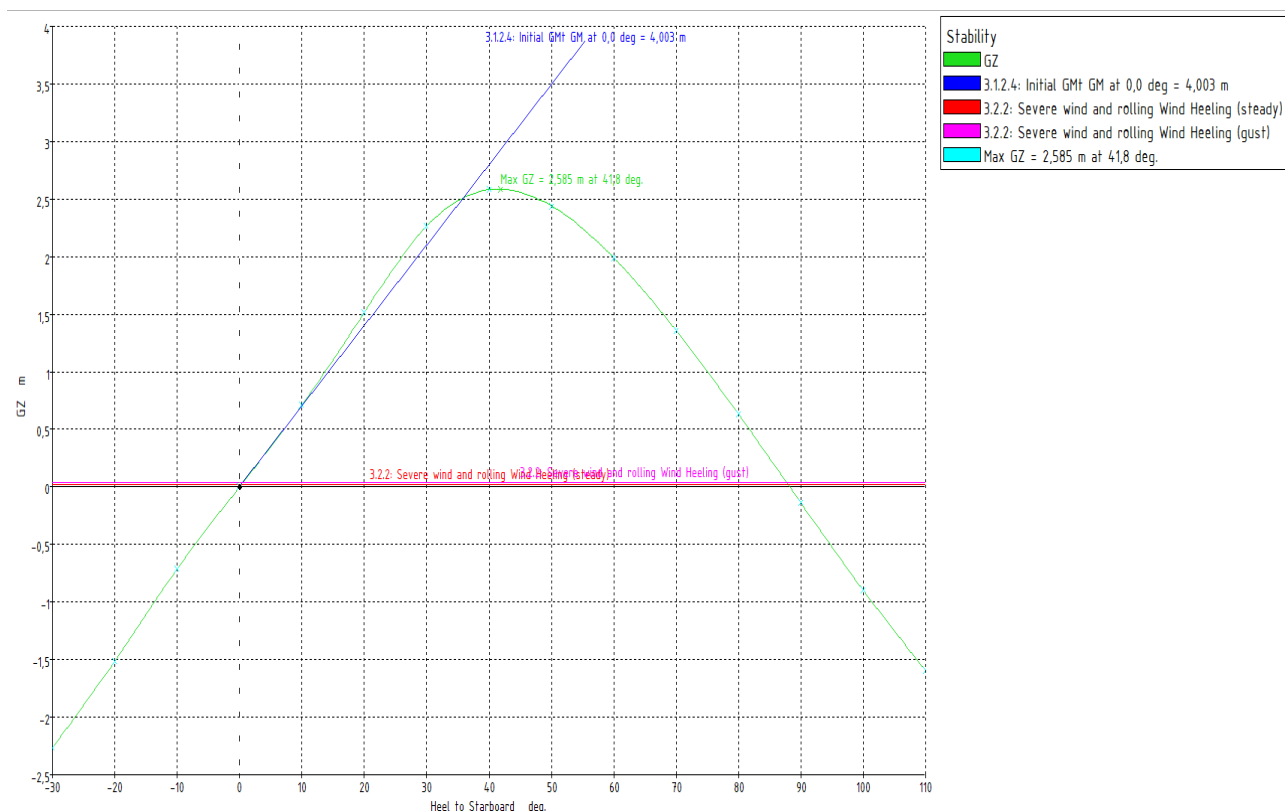


Рис. 2.9 – Діаграма статичної остійності пошкодженого судна з Maxsurf Stability Enterprise

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДР.135.4111.02.ПЗ.02

Арк.

36

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	88,2	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0,0550	m.rad	0,5877	Pass	+968,50
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	88,2	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,0900	m.rad	1,0177	Pass	+1030,74
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	88,2	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0,0300	m.rad	0,4300	Pass	+1333,24
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	41,8	deg	41,8		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	2,585	Pass	+1192,50
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	41,8		
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	41,8	Pass	+67,27
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	4,003	Pass	+2568,67
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 =	18,459	m			
49		total area: A =	2019,502	m²			
50		H = mean draft / 2	5,999	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	-24,7		
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)	87,8	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	41,8	deg	41,8		
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	0,3	Pass	+97,91
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than ($\leq$)	80,00	%	2,04	Pass	+97,45
65		Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100,00	%	350,94	Pass	+250,94
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,023		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,3		
69		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,5		
70		Deck edge immersion angle		deg	16,4		
71		Area1 (under GZ), from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	1,4613		
72		Area1 (under HA), from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	0,0299		
73		Area1, from 0,5 to 50,0 deg.		m.rad	1,4314		
74		Area2 (under GZ), from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	-0,3927		
75		Area2 (under HA), from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	0,0152		
76		Area2, from -24,7 to 0,5 deg.		m.rad	0,4079		
77							

	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	16,4	deg	16,4		
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	88,2	deg	88,2		
96		shall not be less than (>=)	20,0	deg	88,2	Pass	+341,02
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	41,8	deg			
104		first downflooding angle	n/a	deg			
105		shall not be less than (>=)	0,100	m	1,514	Pass	+1414,00
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	88,2	deg			
116		shall not be less than (>=)	0,0175	m.rad	0,2543	Pass	+1353,28
117							

2.2.4 Розрахунок критерію 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:

$$K = \frac{b}{a} = \frac{1,4314}{0,4079} \approx 3,501 \quad (2.6)$$

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

						Арк.
					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.02	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.11 – Перевірка критерії погоди

Критерій	Дійсне значення	Вимога РСУ
K	3,501	$K \geq 1$
l_{max} , м	3,070	$l_{max} \geq 0,2$
θ_{max} , град	41,8	$\theta_{max} \geq 30$
$\theta_{зак}$, град	90,138	$\theta_{зак} \geq 60$
h , м	4,253	$h \geq 0,15$
S_{30} , м · рад	0,6407	$S_{30} \geq 0,055$
S_{40} , м · рад	1,1452	$S_{40} \geq 0,09$
S_{30-40} , м · рад	0,5045	$S_{30-40} \geq 0,03$

Висновки. Проведені розрахунки свідчать про відповідність їх результатів вимогам ч. 4 «Остійність» Правил Регістру України.

					24.ДР.6.135.4111.02.ПЗ.03							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
					Набір корпусу по Правилам Регістру України				Літ.	Арк.	Актуальні	
Студент		Сідільов Е.П.										
Консульт.		Шарун Г.В.							НУК 40			
Керівник		Кротов О.І.										
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.										

3. Набір корпусу по Правилам Регістру України.

3.1 Головні розміри судна.

В даному розділі визначені розміри зв'язків корпусу судна-проекту в соответствии с «Правилами класифікації і побудови морських суден» класу КМ[⊕] [1] А1, наливне [2].

Таблиця 3.1 – Основні розміри судна.

№	Назва величини	Позначення	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	186,02
2	Ширина судна на міделі	B	м	32,75
3	Висота борту	D	м	18,92
4	Осадка судна по літню ВВЛ	d	м	11,20
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_{σ}	-	0,787
6	Швидкість судна	v_s	вуз	14,9

Необхідно перевірити, щоб судно, яке проектується, знаходилося в діапазоні суден, що розглядаються Правилами Регістру України [2]:

- відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18, \frac{186,02}{18,92} = 9,83 \leq 18;$
- відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2,5, \frac{32,75}{18,92} = 1,73 \leq 2,5;$
- відношення осадки судна до висоти борту: $0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8,$
 $0,55 \leq \frac{11,29}{18,92} = 0,597 \leq 0,8;$
- коефіцієнт загальної повноти $C_{\sigma} \geq 0,6; 0,787 > 0,6.$

Відношення головних розмірів не виходять за межі встановлених діапазонів Правил Регістру.

3.2 Архітектурно-конструктивний тип судна.

Судно однопалубне, з кормовим розташуванням МВ та надбудови, з подвійним дном, з подвійним бортами, з бортовими під-палубними та скуловими цистернами. Має 9 поперечних перебірок. З транцевою кормою, бульбо-подібною носовою кінцівкою, з баком.

Подвійне дно набране по поздовжній системі. Кут нахилу стінок бортових цистерн в основній площині (ОП) 45° .

Палуба та ділянки бортів у районі бортових під-палубних цистерн та похилі стінки під-палубних цистерн набрані за поздовжньою системою. Кут нахилу стінок під-палубних цистерн в ОП становить 30° .

3.3 Вибір системи набору перекриття корпусу судна.

Система набору корпусу судна змішана, тобто днище і палубні перекриття набирається за поздовжньою системою набору, а бортові перекриття по поперечній. Кінцеві частини корпусу судна набираються за поперечною системою набору, що дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря [3].

3.4 Вибір марки сталі для корпусу судна

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

Таблиця 3.2 – Характеристики сталей.

№	Марки сталі	R_{EH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних параметрів, η	Нижня межа температури, $^\circ\text{C}$.	Відносне подовження, %.
1	10ХСНД	390	0,68	-40	16
2	10Г2С1Д	355	0,72	-60	16

По розрахунковим характеристикам міцності матеріалу в Правилах прийняті нормативні межі текучості по нормальним σ_n и дотичним τ_n напруженням [2]:

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 346, \tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n = 0,57 \cdot 346 = 197,22 \text{ МПа.}$$

3.5 Вибір шпації.

Нормальна шпація a , м, в середній частині судна визначається по формулі:

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

де $L = 186,02$ - довжина судна між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 186,02 + 0,48 = 0,852 \text{ м.}$$

Прийнято: $a_0 = 845$ мм - поперечна шпація;

$a_0 = 900$ мм - поздовжня шпація.

3.6 Викреслення обводів мідель-шпангоута .

Лінія днища підйому не має.

Радіус заокруглення скули визначається по формулі:

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} = \sqrt{\frac{32,75 \cdot 0,108}{0,86}} = 2,028 \text{ м.}$$

$B=32,75$ – ширина судна, м.

Прийнято: $R = 2$ м

Висота другого дна розраховується по формулі [3]:

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{186,02 - 40}{570} + 0,04 \cdot 32,75 + 3,5 \cdot \frac{11,29}{186,02} = 1,778 \text{ м.}$$

Прийнято: $h_{II} = 2$ м.

Ширина горизонтального кіля розраховується по формулі

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

$$b_k = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 186,02 = 1730 \text{ мм.}$$

Прийнято: $b_k = 2,0$ м.

В таблиці 3.3 наведено межі відсіків.

Таблиця 3.3. Межі відсіків судна.

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Шпація	Відсік	Довжина
227 - 210	Ахтерпик	$L_{ax} = 17 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ м}$
210– 183	МО	$L_{MO} = 27 \cdot 0,9 = 24,3 \text{ м}$
183 – 159	Трюм №7	$L_{\text{трюм}7} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
159 – 135	Трюм №6	$L_{\text{трюм}6} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
135 – 111	Трюм №5	$L_{\text{трюм}5} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
111– 87	Трюм №4	$L_{\text{трюм}4} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
87– 63	Трюм №3	$L_{\text{трюм}3} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
63– 39	Трюм №2	$L_{\text{трюм}2} = 24 \cdot 0,9 = 21,6 \text{ м}$
39-17	Трюм №1	$L_{\text{трюм}1} = 22 \cdot 0,7 = 15,4 \text{ м}$
17 - 0	Форпик	$L_{\text{фор}} = 17 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ м}$
Сума		$L=186,02 \text{ м}$

3.7 Урахування зношення і корозії.

Урахування зношення і корозії розміри зв'язків корпусу побудовано на нормуванні міцності до середини терміну служби конструкції. Потрібна товщина S , мм, для листових конструкцій визначається по формулі [2, 3]:

$$S = S' + \Delta S, \Delta S = 3 \cdot (T - 12), \text{ мм},$$

де S - товщина листа, яка відповідає середньо-річне зменшення товщини зв'язку, мм/год, в результаті зношення і корозії (табл.3.4);

$T = 24$ - період служби конструкції, роки.

3.7.1 Розрахунок запасу на зношення і корозію.

Таблиця 3.4. Швидкість і поправки на корозію.

Елементи конструкції корпусу	z , мм/год	ΔS , мм
Настил верхньої палуби	0,15	1,80
Зовнішня обшивка борту	0,19	2,28
Зовнішня обшивка днища	0,20	2,40
Горизонтальний киль	0,20	2,40
Настил другого дна	0,30	3,60
Настил скулової цистерни	0,30	3,60
Обшивка поперечних перебірок	0,18	2,16
Поздовжні підпалубні балки	0,15	1,80
Поздовжні підпалубні балки в баластному відсіку	0,20	2,40
Продовження табл. 3.4		
Карлінгс	0,13	1,56

Рамний бімс	0,13	1,56
Основні, рамні шпангоути	0,13	1,56
Вертикальний кіль	0,20	2,40
Флори	0,20	2,40
Поздовжні балки другого дна, днища	0,20	2,40
Днищові стрингери	0,20	2,40

3.8 Визначення згинальних моментів.

Розрахункова висота хвилі визначається по формулі:

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

де $L = 185,6$ м - довжина судна між перпендикулярами.

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 186,02}{100} \right)^{3/2} = 9,53 \text{ м},$$

Згинальний момент на тихій воді визначається по формулі:

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

де C_w – розрахункова висота хвилі, м; $B=32,75$ – ширина судна, м; $L=186,02$ м – довжина судна між перпендикулярами; $C_b=0,787$ – коефіцієнт загальної повноти судна.

$$M_{sw} = \pm 76 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = 76 \cdot 9,53 \cdot 32,75 \cdot 186,02^2 \cdot (0,787 + 0,7) 10^{-3} = 1,22 \cdot 10^6$$

Хвильовий згинальний момент, який визиває перегин корпусу судна, визначаються по формулі:

$$M_w = 190 C_w B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9,53 \cdot 32,75 \cdot 186,02^2 \cdot 0,787 \cdot 10^{-3} = 1,61 \cdot 10^6$$

Хвильовий згинальний момент, кНм, який визиває прогин корпусу судна, визначається по формулі:

$$M_w = -110 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = -110 \cdot 9,53 \cdot 32,75 \cdot 186,06^2 \cdot (0,787 + 0,7) 10^{-3} = -1,77 \cdot 10^6$$

Сумарний згинальний момент:

- при прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_w + M_{sw}| = |-1,77 \cdot 10^6 - 1,22 \cdot 10^6| = -3 \cdot 10^6 \text{ кНм},$$

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- при перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_W + M_{SW}| = |1,61 \cdot 10^6 + 1,22 \cdot 10^6| = 2,83 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

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

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

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

Визначаємо допустимі напруження:

$$\sigma_{кор} = \frac{175}{0,68} = 257,35 \text{ МПа},$$

маємо:

$$W_{кор} = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_{кор}} \cdot 10^{-3} = \frac{3 \cdot 10^6}{257,4} \cdot 10^{-3} = 11,65 \text{ м}^3$$

Момент опору корпусу судна, що вимагається по Правилам, визначається по формулі:

$$W_{\min} = C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta = 9,53 \cdot 32,75 \cdot 186,02^2 \cdot (0,787 + 0,7) \cdot 0,68 = 10,92 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

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

$$I_{нотр} = 3 \cdot C_W \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7) = 3 \cdot 9,53 \cdot 32,75 \cdot 186,02^3 \cdot (0,787 + 0,7) = 8,9 \cdot 10^9 \text{ м}^4.$$

Відстань нейтральної осі (н.в.) від ОП визначаємо по формулі:

$$e = 0,4 \cdot D' = 0,4 \cdot 20,12 = 8,05 \text{ м},$$

де $D'=D+h_{ком}=18,92+1,2=20,12$ – висота борту судна-проекту с урахуванням висоти комінгсу люка.

Максимальні діючі напруження в днищі та палубі визначаються по формулам:

$$I_0 = W_d \cdot (D' - e) = 11,65 \cdot (21,12 - 8,05) = 152,26 \text{ м}^4,$$

—для днища:

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\sigma_{\partial n} = \frac{M_{\Sigma^2} \cdot Z_{\partial n}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2,83 \cdot 10^6 \cdot 8,05}{152,26} \cdot 10^{-3} = 149,6 \text{ МПа},$$

—для верхньої палуби:

$$\sigma_{ВП} = \frac{M_{\Sigma^1} \cdot (D - Z_{\partial n})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3 \cdot 10^6 \cdot (18,92 - 8,05)}{152,26} \cdot 10^{-3} = 214,17 \text{ МПа}.$$

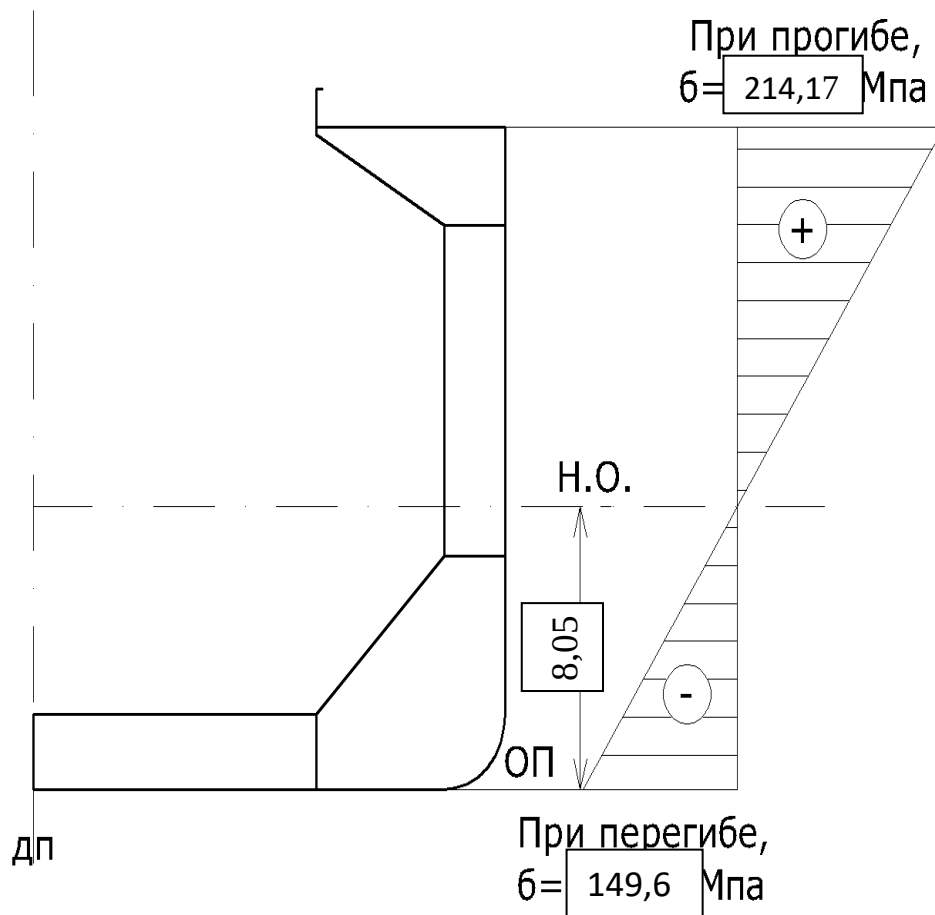


Рисунок 3.1 – Схема напружень, діючих в днищі і палубі.

3.9. Визначення розрахункових навантажень.

3.9.1 Зовнішні навантаження на корпус судна.

З боку моря зовнішні навантаження на корпус судна визначаються величиною статичного стиску P_{st} , кПа, і величиною тиску, що створюється внаслідок переміщення корпусу судна відносно профілю хвилі P_w , кПа.

Розрахунковий статичний тиск визначається по формулі:

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

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

при $Z_i=d=11,29 \text{ м}$.

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 11,29 = 113,52 \text{ кПа.}$$

Хвильовий тиск для точок прикладення навантаження на рівні ВВЛ

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

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

де $v_0=14,9$ – швидкість судна, вуз.; $k_x=0,5$ – для поперечних перерізів до носа від міделі; $x_1=0,3L=55,8$ – відстань поперечного перерізу від кормового перпендикуляра, м.

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) = 0,5 \left(1 - 2 \frac{55,8}{186,02} \right) = 0,2 \text{ Прийнято } a_x = 0,267.$$

$$a_v = \frac{0,8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 14,9 \left(\frac{186,02}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{186,02}} + 1,5 = 2,012$$

$a_v \cdot a_x = 2,012 \cdot 0,267 = 0,537$. Результат добутку $a_v \cdot a_x$ приймаємо:
 $a_v \cdot a_x = 0,537$.

Отримаємо:

$$P_{w0} = \rho \cdot g \cdot \frac{C_w}{2} \cdot a_v \cdot a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{9,53}{2} \cdot 2,012 \cdot 0,267 = 25,74 \text{ кПа.}$$

Для точок прикладення навантаження нижче ватерлінії

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

$$\text{При } Z_i = d = 11,29 \text{ м: } P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 25,74 - 1,5 \cdot 9,53 \cdot \frac{11,29}{11,29} = 11,44 \text{ кПа.}$$

Для точок прикладення навантаження вище ватерлінії

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$P_W = P_{W0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i \text{ кПа.}$$

При $Z_i = D - d = 18,92 - 11,29 = 7,63 \text{ м}$:

$$P_W = P_{W0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i = 25,74 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 7,63 = 10,46 \text{ кПа.}$$

$$P_W \geq P_{\min}, \quad P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 = 0,03 \cdot 186,02 + 5 = 10,58 \text{ кПа.}$$

Тиск на днищову обшивку судна визначається по формулі:

$$P = P_{st} + P_W = 113,52 + 10,46 = 124 \text{ кПа.}$$

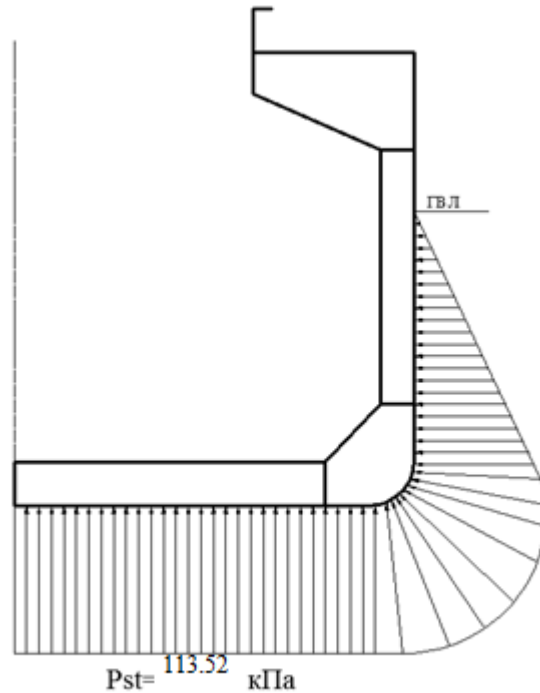


Рис. 3.2. Розподіл статичного тиску.

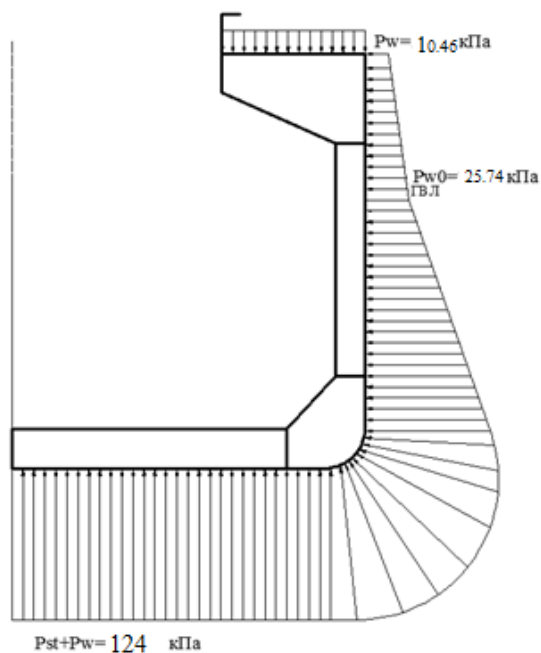


Рисунок 3.3. Розподіл сумарного тиску.

3.9.2 Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності.

Результати розрахунку характеристик еквівалентного бруса наведена в табл.3.5, а схема еквівалентного бруса - на рис. 3.4.

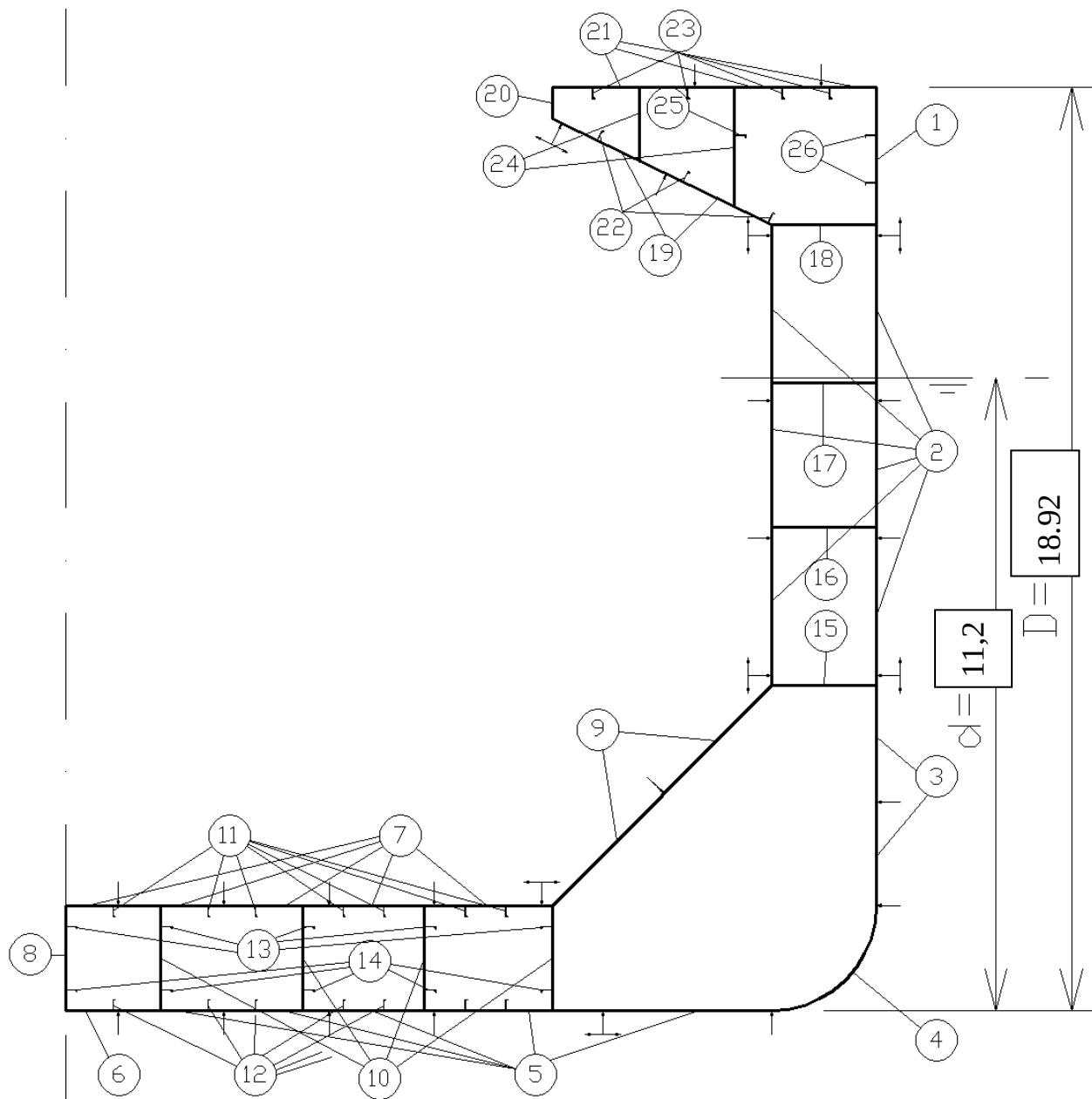


Рис. 3.4 – Схема еквівалентного бруса.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03

Арк.

51

Таблиця 3.5. Розрахунок характеристик еквівалентного бруса.

№	Найменування зв'язку		Розмір зв'язку	Площа зв'язку $F, \text{см}^2$	Відстань ЦТ зв'язку від осі порівняння $z, \text{м}$	Статичний момент площі відносно осі порівняння $Fz, \text{см}^2 \cdot \text{м}$	Переносний момент інерції $Fz^2, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Власний момент інерції $I, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Відстань ЦТ зв'язку від нейтральної осі $z = z - e, \text{м}$
1	2		1	2	3	4	5	6	7
1	Ширстрек		2800 5	700	16.1	11270	181447	457	8.67
2	Пояси змінних ватерліній		8338 0	1668	10.53	17560	184905	9661	3.10
3	Надскуловий пояс		4360 8	785	4.18	3280	13712	1243	-3.25
4	Скуловий пояс		3141 8	565	0.58	328	190	465	-6.85
5	Пояси зовнішньої обшивки днища		12400 8	2232	0.009	20	0.181	—	-7.42
6	Горизонтальний кіль		1000 0	200	0.01	2	0.020	—	-7.42
7	Настил внутрішнього дна		9040 0	1808	1.99	3598	7160	—	-5.44
8	Вертикальний кіль		2000	170	1	85	170	57	-6.43
9	Лист нахиленої стінки другого дна		6283 4	880	4.08	3589	14643	2894	-3.35
10	Днищевий стрингер (4 шт.)		2000 4	1120	1	1120	1120	93	-6.43
11	Ребро жорсткості другого дна (7 шт.)		20a	191.8	1.876	360	675	0.0	-5.56
12	Ребро жорсткості днищове (7 шт.)		186	180.6	0.128	23	3	0	-7.30
13	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)		186	129	1.6	206	330	—	-5.83

24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03

Арк

52

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

14	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)		186	129		0.4	52	21	—	-7.03
15	Стрингерна платформа подвійного борту		2000	4	280	6.16	1725	10625	—	-1.27
16	Стрингерна платформа подвійного борту		2000	4	280	9.16	2565	23494	—	1.73
17	Стрингера платформа подвійного борту		2000	4	280	11.9	3332	39651	—	4.47
18	Стрингера платформа подвійного борту		2000	4	280	14.9	4172	62163	—	7.47
19	Нахилений лист підпалубної цистерни		4616	5	1154	15.9	18349	291743	—	8.47
20	Лист підпалубної цистерни		1000	5	250	17.2	4300	73960	21	9.77
21	Лист верхньої палуби		5100	5	1275	17.3	22058	381595		—
22	Балки Р.Ж. цистерни (3шт.)		206	94		15.8	1488	23516	—	8.37
23	Балки основних Р.Ж. палуби (4шт.)		206	126		17.38	2183	37939	0	9.95
24	Поздовжній лист коридору		3664	2	806	16.56	13349	221054	902	9.13
25	Балки основного набору підпалубної цистерни (1шт.)		186	26		16.6	428	7109	—	
26	Балки набору ширстреку (2шт.)		206	63		16.15	1014	16380	—	8.72
	СУМА			15671			116455	1609397		

$$I_{н.о} = 2(C \cdot e^2 \cdot A) \cdot 10^{-4} = 148,80 \text{ м}^4.$$

$$e = B/A = 116455/15671 = 7,43 \text{ м.}$$

$$I = 148,80 \text{ м}^4.$$

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						53

$$W_b^\phi = I/e = 20,024 \cdot 10^6 \text{ см}^3.$$

$$W_d^\phi = I/(D-e) = 148,80/(20,66-7 \cdot 43) = 13,23 \cdot 10^6 \text{ см}^3.$$

$$W_{\text{треб}} = 13,03 \text{ м}^3.$$

$$I_{\min} = 124,6 \text{ м}^4$$

$$W_b^\phi > W_{\text{треб}}.$$

$$W_d^\phi > W_{\text{треб}}.$$

Оскільки $I > I_{\min}$ поздовжня міцність судна забезпечена.

Креслення конструктивного мідель-шпангоута (24.ДП.134.4111.02.07.05)
представлено на рис.3.5.

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі виконано розрахунок основних елементів і характеристик танкера класу КМ□ Ice42AUT1. Розраховано у першому наближенні водотоннажність, характеристики форми корпусу, головні розміри та потужність головного двигуна. У другому наближенні визначено водотоннажність, уточнено основні розміри з урахуванням потужності обраного двигуна та питомої витрати палива, проведено розрахунки початкової стійкості та плавності хитавиці.

За допомогою програми Maxsurf Modeler Advanced було отримано теоретичне креслення, а також креслення загального розташування судна.

За допомогою програми Maxsurf Stability Advanced були отримані гідростатичні криві, виконано розрахунок місткості вантажних приміщень та цистерн, обчислено координати центра мас та удиферентовано проект танкера.

Виконано перевірку вимог Правил Регістра України до остійності проекту судна. Побудовано діаграми статичної остійності судна для неушкодженого та ушкодженого стану корпусу. Розраховано критерій погоди і критерій остійності.

Розрахований набір корпусу за Правил Регістру України.

Вибрано марку та категорію сталі, розраховано навантаження, що діють на корпус судна, перевірено загальну міцність корпусу. За результатами розрахунку побудовано креслення конструктивного мідель-шпангоута.

Перевірено міцність зовнішньої обшивки днища корпусу судна.

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник. О.І. Кротов, В.І. Голіков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко – Миколаїв: УДМТУ, 2003. 156 с.
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т 1-4. Київ, 2020.- 792 с.
3. Проектування конструктивного мідель-шпангоута наливних суден / Узлов О. М. Миколаїв: УДМТУ, 2003 – 89 с.

					24.ДР.135.4111.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57